



Schwingungstechnik und
Erschütterungen im
Bauwesen

baudyn.de

Messung
Berechnung
Beratung
Gutachten

DECKBLATT

Gutachten

Projekt 2015320
Inhalt AKN-Strecke A1 / S21 Schleswig-Holstein
Elektrifizierung / zweigleisiger Ausbau
Dokument 2019-06-18-2015320-N2-12-GA
B5 Gutachten Schwingungen / Erschütterung PFA 2
B5.1 Bericht Erschütterungen
Auftraggeber AKN Eisenbahn GmbH
Rudolf-Diesel-Straße 2
24568 Kaltenkirchen
Anmerkung Eine auszugsweise Zitierung ist mit uns abzustimmen
Das Gutachten umfasst 61 Seiten
Datum [vollständig überarbeitete Fassung](#)
[18.06.2019](#)

baudyn GmbH

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

baudyn GmbH
Baudynamik &
Strukturmonitoring

Alsterdorfer Straße 245
D-22297 Hamburg
Fon +49 40 54 80 291-00
Fax +49 40 54 80 291-29

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.....	6
3.1 Einwirkungen aus Erschütterungen.....	6
3.2 Menschen in Gebäuden.....	8
3.3 Bauliche Anlagen.....	11
3.3.1 Kurzzeitige Erschütterungseinwirkungen.....	14
3.3.2 Einwirkung von Dauererschütterungen.....	15
3.4 Böden im Gründungsbereich von baulichen Anlagen.....	16
3.4.1 DIN 4150 Wirkung von Erschütterungen auf Böden.....	17
3.4.2 Ergänzende Hinweise.....	17
3.5 Technische Anlagen.....	19
3.6 Einwirkungen aus sekundärem Luftschall.....	19
4 Messtechnische Untersuchungen.....	21
4.1 Untersuchungsgebiet.....	21
4.2 Messobjekte.....	23
4.2.1 Bahnstraße 2, Quickborn.....	23
4.2.2 Messobjekt Am Felde 70, Ellerau.....	24
4.3 Schwingungsmessungen.....	24
4.4 Auswertung und Dokumentation.....	24
5 Prognose.....	25
5.1 Vorgehensweise.....	25
5.2 Eingangsdaten.....	26
5.2.1 Emissionsspektren.....	26
5.2.2 Überfahrt von Weichen.....	29
5.2.3 Transmission im Boden.....	29
5.2.4 Transmission Gelände-Stockwerksdecke.....	31
5.2.5 Maßnahmen.....	31
5.3 Durchführung der Prognose.....	34
6 Ergebnisse.....	37
6.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden.....	37
6.1.1 Bahnstraße 2, Quickborn.....	38
6.1.2 Am Felde 70, Ellerau.....	40
6.1.3 Am Felde 89, Ellerau.....	46
6.1.4 Bahnstraße 132 a-h, Quickborn.....	50
6.1.5 Bahnstraße 134, Quickborn.....	54
6.2 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen.....	57
7 Zusammenfassende Bewertung.....	58

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 GmbH (AKN) im Auftrag der Bundesländer Hamburg und Schleswig-Holstein. Im Unterauftrag der AKN Eisenbahn GmbH (AKN) 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 zweigleisigen Ausbau von derzeit bestehenden eingleisigen Streckenbereiche.

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.

Im PFA 2 ist ein zweigleisiger Ausbau zwischen Quickborn und Ellerau geplant. Der zweigleisige Ausbau endet an dem bereits aktuell zweigleisigen Haltepunkt Ellerau. In diesem Abschnitt befindet sich das Gebäude Bahnhofstraße 2, welches als Messobjekt untersucht sowie für die Prognose verwendet wurde.

Darüber hinaus ergeben sich im Osten von Ellerau Änderungen durch den Ausbau des Haltepunktes Tanneneck. Im Zuge dieses Ausbaus sind die Gleise zu verlängern und die Weiche 701 um 70 m in Richtung Westen zu versetzen.

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

Es ist zu untersuchen, welche Veränderungen der Erschütterungsimmisssionen in Folge der Umsetzung des Vorhabens zu erwarten sind.

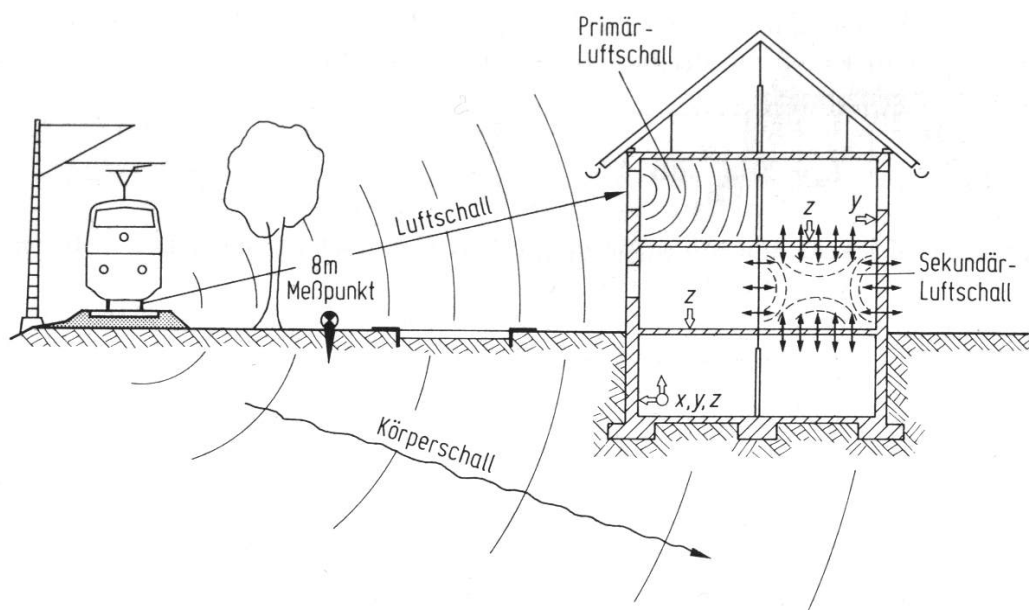


Abbildung 1: Erschütterungsübertragung Bahnstrecke – Gebäude (Taschenbuch der Technischen Akustik)

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 einzelnen in der Erschütterungstechnischen Untersuchung verwiesenen Regelwerke.

Zur Konkretisierung der Ziele im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) wurde [der Erschütterungs-Leitfaden „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen“](#), von der [Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz \(LAI\) am 15.06.2018 beschlossen](#) und ist zur Ermittlung und Beurteilung, ob Erschütterungen schädlich oder belästigend sind, heranzuziehen. [Der Erschütterungs-Leitfaden](#) umfasst die Vorgehensweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen für genehmigungsbedürftige und nicht genehmigungsbedürftige Anlagen einschließlich Baustellen.

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)

In der vorliegenden Untersuchung ist die DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“² 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.

Mit Datum vom 15.09.2017 wurde die aktuelle Fassung der DB Richtlinie 820.2050 „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ veröffentlicht. Diese Richtlinie enthält Angaben zur Durchführung und Beurteilung von Erschütterungen beim Bau und Betrieb von Bahnstrecken.

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.

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

² 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)

Schienenverkehrserschütterungen werden auf Gebäudefundamenten in der Regel geringere Erschütterungsamplituden gemessen als auf Erdspießen an der Geländeoberkante.

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

3.2 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 $KB_{F_{max}}$ auf der Fußbodenebene, auf der sich die Menschen aufhalten, heranzuziehen. Bei der Ermittlung der bewerteten Schwingstärke treten gemäß DIN 4150 Teil 2 erfahrungsbedingt

messtechnisch bedingte Unsicherheiten von bis etwa 15 % auf. Diese Unsicherheiten sind zunächst nicht in den angegebenen Werten berücksichtigt.

Die Anforderungen der Norm sind eingehalten, wenn die gemessenen, maximalen $KB_{F_{max}}$ -Werte kleiner oder gleich dem unteren Anhaltswert A_u der Norm sind. 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 Gebieteinteilung 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).

3.3 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“ zurück gegriffen, welche insbesondere in 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.

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

Im Weiteren wird die Vorgehensweise gemäß der DIN 4150 beschrieben.

Zur Vermeidung von Schäden werden Anforderungen in der DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen“ mit Anhaltswerten der Schwinggeschwindigkeit für 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 [Dezember 2016](#)) 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 ange regt 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, [4 oder B 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.“

[Gleichwohl können bei Erschütterungseinwirkungen unterhalb der Anhaltswerte dort Risse entstehen, wo ein im Vergleich zu den aufnehmbaren Spannungen erhöhter statischer Spannungszustand vorliegt und geringe dynamische Zusatzspannungen zur Auslösung oder zur Vergrößerung von Rissen ausreichen. Diese Auslösung oder Vergrößerung von Rissen besteht demnach in einer zeitlichen Vorverschiebung ohnehin entstehender Risse.](#)

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 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 für 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 Anhaltswerten in zur DIN 4150 in der Größenordnung vergleichbaren Anhaltswerten, wird hierzu ausgeführt:

„... Die Spannungsbeanspruchung durch Erschütterungen mit Geschwindigkeitswerten, die dem Objekt angepassten Richtwert nicht wesentlich überschreiten ist gering. Risse können dort entstehen, wo bereits Zugspannungen (inkl. Schwind- und 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. ...“

3.3.1 Kurzzeitige Erschütterungseinwirkungen

In der DIN 4150 Teil 3 [Tabelle 1](#) werden Anhaltswerte zur Beurteilung kurzzeitiger Erschütterungseinwirkungen in Abhängigkeit von der Gebäudeart und der Frequenz für Fundamentmesspunkte in drei Raumrichtungen, Messpunkte in der obersten Deckenebene für die Horizontalschwingungen des Gebäudes ([siehe Tabelle 2](#)), für [Deckenschwingungen, massiven Bauteilen und unterirdischen Bauwerken sowie erdverlegten Rohrleitungen](#) angegeben.

	Gebäudeart	Anhaltswerte für $v_{i, \max}$ in mm/s				
		Fundament, alle Richtungen, $i = x, y, z$ Frequenzen			Oberste Deckenebene, horizontal, $i = x, y$	Decken, vertikal, $i = z$
		1 Hz bis 10 Hz	10 Hz bis 50 Hz	50 Hz bis 100 Hz ^a	alle Frequenzen	alle Frequenzen
Spalte Zeile	1	2	3	4	5	6
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 bis 40	40 bis 50	40	20
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5 bis 15	15 bis 20	15	20
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und Zeile 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z. B. unter Denkmalschutz stehend) sind	3	3 bis 8	8 bis 10	8	20 ^b
ANMERKUNG Auch bei Einhaltung der Anhaltswerte nach Zeile 1, Spalten 2 bis 5 können leichte Schäden nicht ausgeschlossen werden.						
^a Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden. ^b Unterabschnitt 5.1.2 Absatz 2 ist zu beachten.						

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

3.3.2 Einwirkung von Dauererschütterungen

In der DIN 4150 Teil 3 Tabelle 4 werden Anhaltswerte für Dauererschütterungen für Messpunkte in der obersten Deckenebene für die Horizontalschwingungen, Deckenschwingungen (siehe Tabelle 3) sowie ein Abminderungsfaktor für erdverlegte Rohrleitungen genannt.

	Gebäudeart	Anhaltswerte für $v_{i, \max}$ in mm/s	
		Oberste Deckenebene, horizontal, alle Frequenzen	Decken, vertikal, alle Frequenzen
Spalte Zeile	1	2	3
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	10	10
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	10
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und Zeile 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z. B. unter Denkmalschutz stehend) sind	2,5	10 ^a
ANMERKUNG Auch bei Einhaltung der Anhaltswerte nach Zeile 1, Spalte 2 können leichte Schäden nicht ausgeschlossen werden.			
^a Unterabschnitt 6.1.2 ist zu beachten.			

Tabelle 3: DIN 4150 Teil 3 Tabelle 4 Anforderungen für Dauererschütterungen des Gesamtgebäudes

3.4 Böden im Gründungsbereich von baulichen Anlagen

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

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

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

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

3.4.1 DIN 4150 Wirkung von Erschütterungen auf Böden

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

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

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

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

3.4.2 Ergänzende Hinweise

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

Konkrete Untersuchungen zur Fragestellung der Einwirkung von Erschütterungen auf Böden und deren Validierung liegen in geringem Umfang vor, so dass für diese Fragestellungen bisher wenige Untersuchungsergebnisse vorliegen und noch

nicht verallgemeinert werden können. Gleichwohl sind die Erkenntnisse anzuwenden, um Schäden zu vermeiden.

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

Die Untersuchungen von Grabe und Mahutka 2006¹ ergeben für niedrigere Betriebsfrequenzen von Rüttlern größere Winkel und damit einen größeren Einflussbereich als die Angaben in der DIN 4150 Teil 3. Diese Erscheinungen mit der Folge einer Erhöhung der Verdichtung des Bodens und Setzungen treten nicht nur bei geringer Lagerungsdichte, sondern auch bei rolligen Böden mittlerer Lagerungsdichte auf. Darüber hinaus wird der Einflussbereich zusätzlich in Durchmessern D von Pfählen bei Schlagrammen mit bis zu $6 D$ und beim Rütteln mit bis zu $8 D$ angegeben.

Der Einflussbereich beim Einrütteln von Pfählen mit einem Durchmesser D wird in den Untersuchungen von Henke 2008² mit $2 D$ bis $7 D$ angegeben.

Dieses Kriterium wird im Weiteren als Durchmesserkriterium bezeichnet.

In den Untersuchungen von Mahutka 2008³ wird der in der DIN 4150 Teil 3 genannte Winkel zur Ermittlung des Einflussbereiches für hohe Rüttelfrequenzen von 40 Hz als ausreichend bestätigt, während für geringere Frequenzen von 30 Hz und 25 Hz ein größerer Einflussbereich festgestellt wurde und damit ein größerer nach oben geöffneter Winkel als in der Norm zu berücksichtigen ist.

Zur zuverlässigen Abschätzung des Einflussbereiches wird in den Untersuchungen für die Festlegung eines größeren, nach oben geöffneten Winkels als in der Norm kein Vorschlag gemacht. Für die weiteren Betrachtungen wird daher eine

¹ J. Grabe, K.-H. Mahutka, 2006, Zur Abschätzung von Erschütterungen und Sackungen in der Umgebung von Rammarbeiten, VDI Baudynamik Tagung 2006, VDI-Berichte 1941, ISBN 3-18-091941-8

² S. Henke, 2008, Herstellungseinflüsse aus Pfahlrammung im Kaimauerbau, ISBN -13 978-3-936310-19-1

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

Erhöhung des Winkels aus der DIN 4150 um 10° auf 40° bzw. auf 55° im Grundwasser vorgenommen und im Weiteren als Winkelkriterium bezeichnet.

3.5 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.

3.6 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 Allgemei-

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

nen 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 Ellerau sowie dem Ausbau des Haltepunktes Tanneneck mit einer Verlängerung der Gleise und dem Versetzen der Weiche 701 um 70 m in Richtung Westen 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.

Der zweigleisige Ausbau endet am bereits heute zweigleisigen Haltepunkt Ellerau.

Im Osten von Ellerau ergeben sich Änderungen durch den Ausbau des Haltepunktes Tanneneck. Im Zuge dieses Ausbaus sind die Gleise zu verlängern und die Weiche 701 um 70 m in Richtung Westen zu versetzen.

Gemäß Lageplan zur Planfeststellung, Strecken-km 23,7 - 24 Plannummer SE15037-GP-256-a befindet sich derzeit bei km 23,96 das Herzstück der Weiche 701 und soll um 70 m in Richtung Westen zu km 23,90 verschoben werden.

Die bisherige Lage befindet sich mit dem Herzstück etwa querab zu dem südlich der Bahnstrecke gelegenen Wohngebäude Bahnstraße 140. Zukünftig befindet sich das Herzstück querab zum östlichen Teil der südlich gelegenen Wohngebäude 132 a-h bzw. zwischen den nördlich gelegenen Wohngebäuden Am Felde 70 und Am Felde 89 und das Ende der Weiche etwa querab zum südlich gelegenen Wohngebäude Bahnstraße 134.

4.2 Messobjekte

Im Rahmen des Vorhabens ist der Einfluss auf die Erschütterungen durch die Veränderung der Gleislage zu den Gebäuden räumlich sehr begrenzt. Es handelt sich im Westen von Ellerau bei den geplanten Veränderungen um den im Haltepunkt Ellerau endenden zweigleisigen Ausbau. Als einziges Wohngebäude ist hier die Bahnstraße 2 zukünftig näher an der Bahnstrecke gelegen. Das Wohngebäude Bahnstraße 2 wurde als Messobjekt verwendet. Im Osten von Ellerau handelt es sich um die geplanten Veränderungen um ein Versetzen der Weiche 701 um 70 m in Richtung Westen. In dem möglichen Einflussbereich der Weiche in der geplanten Lage sind vier Wohngebäude in der Prognose betrachtet worden. Als repräsentatives Messobjekt wurde das Wohngebäude Am Felde 70 ausgewählt.

4.2.1 Bahnstraße 2, Quickborn

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 Messobjekt Am Felde 70, Ellerau

Bei dem Messobjekt 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. Die um 70 m in Richtung Westen geplante Verlegung der Weiche 701 ist zukünftig in einem Abstand von 21 m zum Wohngebäude Am Felde 70 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 Erdspeießen 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 „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ 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 Luftschalls aus dem Schienenverkehr verwendeten empirischen Beziehung zwischen Schwingungen und abgestrahltem sekundären Luftschall hingewiesen.

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 Erschütterungsemissionen der unterschiedlichen Schienenfahrzeuge hängen u.a. von der Fahrgeschwindigkeit, dem Zustand der Radsätze, den dynamischen Eigenschaften der Fahrzeuge, der Massenverhältnisse von Achslasten zu unabgedeckten 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 Schienenfahrzeugdynamik¹ werden unterschiedliche Anregungsmechanismen genauer beschrieben. Es handelt sich dabei im Wesentlichen um Schienenirregularitäten, Radirregularitäten, Schwellenüberrollung und höherfrequente sinuslaufähnliche Bewegungsvorgänge, welche in Wechselwirkung mit

¹ Gleisdynamik, Knothe, Ernst & Sohn, Berlin, 2001; Schienenfahrzeugdynamik, Knothe, Stichel, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2003

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.

Für die Prognosen sind die Terzschnellepegel von Messpunkten auf Erdspießen 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

¹ Schwinggeschwindigkeitsamplitude in logarithmischer Pegeldarstellung

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

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 Untersuchungsberichten¹ veröffentlicht wurde.

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

5.2.2 Überfahrt von Weichen

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

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

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

5.2.3 Transmission im Boden

Zur Beschreibung der Erschütterungsausbreitung im Boden wird die Abhängigkeit der Erschütterungsamplitude vom Ausbreitungsabstand gemäß DIN 4150 Teil 1

¹ „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

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.

5.2.4 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.

5.2.5 Maßnahmen

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

Die Durchführung von Maßnahmen an bestehenden Gebäuden ist in Einzelfällen unter besonderen Umständen möglich, etwa durch die Veränderung der Eigenfrequenz einer Stockwerksdecke. Maßnahmen an Neubauten können in unterschiedlicher Form, im Bereich der Gründung, mit einer elastischen Gebäudelagerung oder einer gezielten Abstimmung von Deckeneigenfrequenzen ergriffen werden.

Auf dem Übertragungsweg im Boden kann z.B. durch Einbauten im Boden mit einem offenen Schlitz eine Verminderung der Übertragung von Erschütterungen erreicht werden. Für wirksame Maßnahmen im Boden sind sehr aufwändige Konstruktionen erforderlich, z.B. sehr tiefe, möglichst offene Schlitz, die dennoch horizontale Lasten aufnehmen müssen. Diese Maßnahmen sind nicht Stand der Technik und wurden daher in diesen Untersuchungen nicht berücksichtigt.

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

In den Prognosen dieser Untersuchungen werden als Maßnahme besohlte Schwellen zur Verminderung von Erschütterungsimmissionen verwendet.

Bei besohlenen Schwellen handelt es sich um Stahlbetonschwellen, die auf der Unterseite mit einer elastischen Federschicht und zum Schotter mit einer Schutzschicht ausgestattet sind. Im Vergleich zu einer bestehenden Bahnstrecke ohne besohlte Schwellen wird mit der besohnten Schwelle ein günstigerer Kontakt zwischen Schwelle und Schotter hergestellt, so dass eine Schonung des Schotters, eine langfristige Erhöhung der Gleislagestabilität sowie eine Verringerung der Erschütterungen erreicht werden kann. Im vorliegenden Fall wurde für die besohlte Schwelle eine Polyurethan-Matte mit einer statischen Steifigkeit von $c_{\text{stat}} = 0.15 \text{ N/mm}^3$ angesetzt. Ausgehend von den Erfahrungen mit besohlenen Schwellen in der Praxis^{1 2 3 4} kann für diese besohlte Schwelle die in der Abbildung 2 angegebene Wirksamkeit erwartet werden.

¹ Körperschall-/Erschütterungsschutz durch besohlte Schwellen – Wirkung und Grenzen, H. Loy, Eisenbahntechnische Rundschau Austria, Dezember 2012, Nr. 12

² Minderung von Erschütterungsemissionen und sekundärem Luftschall durch Schwellenbesohlungen - Wirkungsweise und Erfahrung, H. Loy, A. Augustin, ZEV 139 (2015) Lärmschutz und Umwelt

³ Schwellenbesohlung zur Reduktion von Körperschall-Immissionen, K. Köstli, Symposium Ziegler Bauwerksdynamik und Erschütterungsmessungen an der EMPA Dübendorf, 2007

⁴ Forschungsprojekt RIVAS Railway Induced Vibration Abatement Solutions Collaborative project, State of the art review of mitigation measures on track, Deliverable D3.1, B. Asmussen, International Union of Railways (UIC), 30.09.

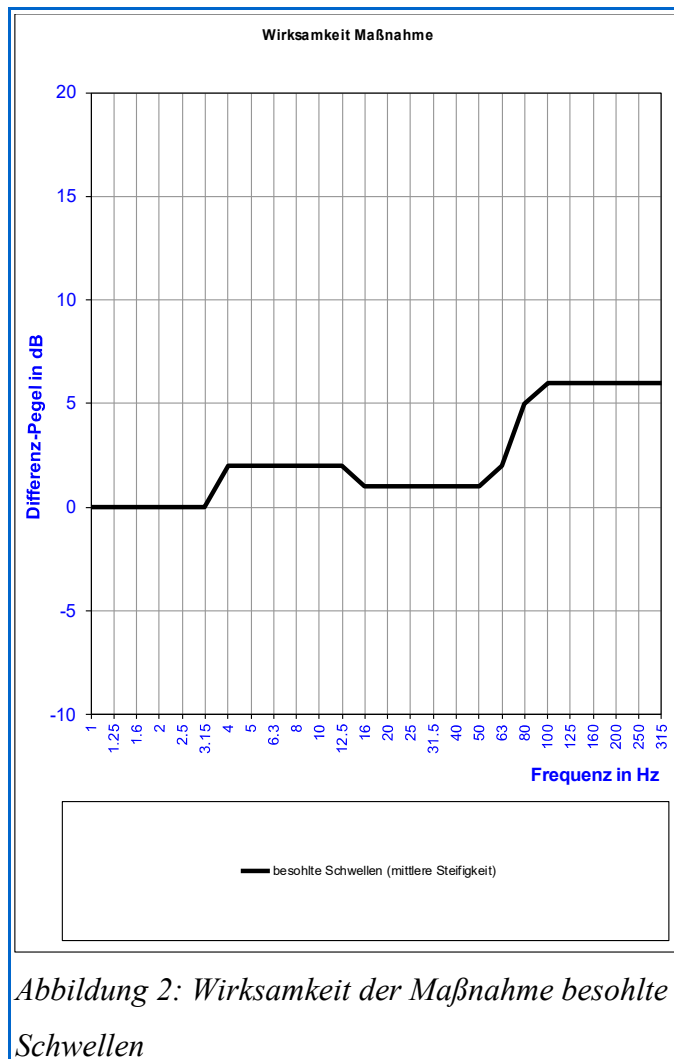


Abbildung 2: Wirksamkeit der Maßnahme besohlte Schwellen

Die zusätzlichen Kosten¹ für eine besohlte Schwelle im normalen Streckengleis liegen in der Größenordnung von 90 €/m Gleis.

Können durch den Einsatz der Maßnahme Überschreitungen der Beurteilungskriterien verhindert werden, so ist die Maßnahme für eine ausreichende Abdeckung von der ungünstigsten Gebäudeecke in jede Richtung entlang der Gleise mindestens 25 m zu führen, wobei von der Lotrechten der Gebäudeecke zum Gleis bis zum Ende der Maßnahme ein Winkel von mindestens 45° erforderlich ist (Abbildung 3).

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

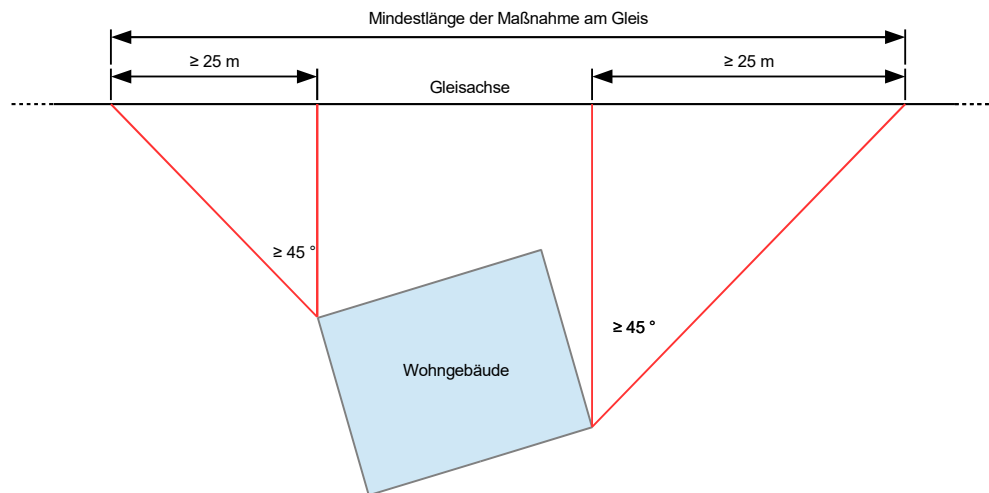


Abbildung 3: Mindestlänge der Maßnahme am Gleis

5.3 Durchführung der Prognose

Für die Mess- und Prognoseobjekte erfolgt die Prognose für die plangegebene Situation (Prognose-Nullfall) mit der aktuellen Gleislage und der Verkehrsprognose für das Jahr 2030 sowie für den Planfall mit der Umsetzung des Vorhabens mit der geplanten Gleislage und der betreffenden Zughäufigkeit für das Jahr 2030. Bei der Umsetzung des Vorhabens wird im Westen von Ellerau für das Gebäude Bahnstraße 2 das zusätzliche Gleis sowie im Osten von Ellerau die Verlegung der Gleise und der Weiche 701 um 70 m in Richtung Westen berücksichtigt.

Die Prognosen werden ausgehend von den in den Messobjekten Bahnstraße 2 und Am Felde 70 ermittelten Emissionen, Transmissionen im Boden und ins Gebäude für das jeweilige Gebäude durchgeführt.

Darüber hinaus werden die Prognosen für die im Einflussbereich der zukünftig verschobenen Weiche befindlichen Gebäude Am Felde 89 sowie Bahnstra-

ße 132 a-h und 134 mit einer Übertragung der in dem Messobjekt Am Felde 70 ermittelten Emissionen, Transmissionen im Boden und ins Gebäude durchgeführt. Bei dem Messobjekt Am Felde 70 handelt es sich um ein Einfamilienhaus mit einem Erdgeschoss sowie einem bewohnten Dachgeschoss mit Stahlbetondecken. Bei der Prognose für die Gebäude Am Felde 89 sowie Bahnstraße 132 a-h wurde zusätzlich als Maßnahme zum Erschütterungsschutz die Wirksamkeit von besohlenen Schwellen berücksichtigt.

Im Rahmen der Prognose ist ausgehend von dem derzeitigen Zugverkehr mit Triebwagen VTA und Lint54 in dem Prognose-Nullfall im Jahr 2030 ausschließlich Zugverkehr mit Triebwagen Lint54 vorgesehen. Für den Planfall 2030 sind ausschließlich S-Bahnzüge der Baureihe 490 als Zweistrom-Fahrzeug vorgesehen.

In der Prognose für den Prognose-Nullfall 2030 sind die gemessenen Emissionen bei Vorbeifahrten des Triebwagen Lint54 zu verwenden.

Für den Prognose-Planfall 2030 stehen Emissionsspektren für die S-Bahn-Emissionen aus den o.g. Vergleichsmessungen auf der S-Bahnstrecke Halstenbek-Pinneberg zur Verfügung.

Im Rahmen der Realisierung des Vorhabens ist der Zugverkehr mit S-Bahnzügen vorgesehen und stellt damit den zu beantragenden Prognose-Planfall dar.

Aufgrund der Tatsache, dass die S-Bahn-Emissionen an einer anderen Bahnstrecke gemessen wurden, sind für den Prognose-Planfall zusätzlich die bei den Schwingungsmessungen im Untersuchungsgebiet ermittelten Emissionen Lint54 verwendet worden. Die Prognosen mit den Emissionen Lint54 wurden ergänzend durchgeführt, um zu zeigen, welchen Einfluss die Veränderung der Bahnstrecke bei Umsetzung des Vorhabens bei gleichbleibenden Zugfahrzeugen aufweist und stellt eine Abschätzung zu hohen Immissionen dar. Aus gutachterlicher Sicht dient diese ergänzende Abschätzung zu hohen Immissionen für eine möglichst belastbare Einschätzung der Situation i.S. der betroffenen Anwohner.

Die Zugverkehrshäufigkeiten sind in der nachfolgenden Tabelle 4 angegeben:

AKN-Strecke A1 / S21 Schleswig-Holstein Elektrifizierung / Zweigleisiger Ausbau				
Angaben zum Schienenverkehr				
Zuggattung	Fahr- geschwindigkeit	Zuglänge	Anzahl	
			tags 6-22 Uhr	nachts 22-6 Uhr
Prognose-Nullfall 2030				
Lint54	80 km/h	54 m	12	4
2x Lint54	80 km/h	108 m	95	22
Summe			107	26
Prognose-Planfall 2030				
S-Bahn BR490	80 km/h	66 m	0	8
2x S-Bahn BR490	80 km/h	132 m	100	20
Summe			100	28

Tabelle 4: Angaben zum Schienenverkehr Prognose-Nullfall 2030 und Prognose-Planfall 2030

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.

In die Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ gehen gemäß DIN 4150 keine Erschütterungsereignisse ein, für welche die maximale bewertete Schwing-

stärke $KB_{F_{max}} < 0,1$ beträgt. Sofern für alle zu berücksichtigenden Erschütterungsereignisse eine maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F_{max}} < 0,1$ vorliegt, ergibt sich für die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}} = 0,000$ bzw. mathematisch $KB_{F_{Tr}} \equiv 0$.

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 wie unter 5.3 beschrieben insgesamt für folgenden Situationen berücksichtigt worden:

- Prognose-Nullfall Emissionen Lint54,
- Prognose-Planfall Emissionen Lint54, ohne und mit Weiche,
- Prognose-Planfall Emissionen S-Bahn, ohne und mit Weiche.

Zur Beurteilung ist im Planfall für die Erschütterungsmissionen für die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ tags (6-22 Uhr) und nachts (22-6 Uhr) eine Überschreitung 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 zur sicheren Seite mit den Emissionen Lint54 sowie mit den S-Bahn-Emissionen aus den Vergleichsmessungen wurden Tabellen mit einer Angabe der Veränderung aufgestellt und in den nachstehenden Abschnitten für jedes Mess- bzw. Prognoseobjekt dargestellt.

6.1.1 Bahnstraße 2, Quickborn

Für das Grundstück mit dem Gebäude Bahnstraße 2 in Quickborn liegt keine Gebietsausweisung vor, so dass die Einordnung bzgl. der Anforderungen gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 3 für Misch- und Kerngebiete erfolgte.

Die Ergebnisse zeigen für den Prognose-Nullfall und den Prognose-Planfall mit den Lint54-Emissionen (Tabelle 5) 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 und damit eine Einhaltung der Beurteilungskriterien vor.

Für den Prognose-Planfall mit den S-Bahn-Emissionen (Tabelle 6) 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 +15 %, 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	
Anforderung	Zeile 3	0,1	0,07	35		25	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP1 EG Wohnzimmer	Nullfall	0,047	0,033	19,4	19,7	16,3	15,6
	Planfall	0,050	0,037	19,8	18,9	17,3	16,4
	Δ	6%	12%	0,4	-0,8	1,0	0,8
MP3 OG Kinderzimmer	Nullfall	0,124	0,087	14,3	14,7	11,1	11,5
	Planfall	0,132	0,099	14,6	14,9	12,1	12,4
	Δ	6%	14%	0,3	0,2	1,0	0,9
MP4 OG Küche	Nullfall	0,138	0,097	15,3	15,5	12,1	12,3
	Planfall	0,147	0,110	15,7	15,7	13,2	13,2
	Δ	7%	13%	0,4	0,2	1,1	0,9
MP5 OG Schlafzimmer	Nullfall	0,075	0,052	13,6	14,2	10,5	11,0
	Planfall	0,080	0,060	14,0	14,4	11,5	11,9
	Δ	7%	15%	0,4	0,2	1,0	0,9

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 **liegt eine Einhaltung der Beurteilungskriterien vor.**

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	
Anforderung	Zeile 3	0,1	0,07	35		25	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP1 EG Wohnzimmer	Nullfall	0,047	0,033	19,4	19,7	16,3	15,6
	Planfall	0,000	0,000	13,8	14,4	11,3	11,9
	Δ	-100%	-100%	-5,6	-5,3	-5,0	-3,7
MP3 OG Kinderzimmer	Nullfall	0,124	0,087	14,3	14,7	11,1	11,5
	Planfall	0,023	0,017	8,9	10,6	6,4	8,0
	Δ	-81%	-80%	-5,4	-4,1	-4,7	-3,5
MP4 OG Küche	Nullfall	0,138	0,097	15,3	15,5	12,1	12,3
	Planfall	0,033	0,024	9,3	10,9	6,8	8,4
	Δ	-76%	-75%	-6,0	-4,6	-5,3	-3,9
MP5 OG Schlafzimmer	Nullfall	0,075	0,052	13,6	14,2	10,5	11,0
	Planfall	0,000	0,000	7,2	9,2	4,7	6,7
	Δ	-100%	-100%	-6,4	-5,0	-5,8	-4,3

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

6.1.2 Am Felde 70, Ellerau

Das Grundstück mit dem Gebäude Am Felde 70 in Ellerau befindet sich in einem allgemeinen Wohngebiet, so dass die Anforderungen gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 4 für Wohngebiete maßgeblich sind.

Die Ergebnisse zeigen für den Prognose-Nullfall mit den Lint54-Emissionen für einen von vier untersuchten Deckenmesspunkt eine Überschreitung der Anhaltswerte A_r gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 4 tags von 0.07 und nachts von 0.05.

Für den Prognose-Planfall mit den Lint54-Emissionen und ohne Weiche (Tabelle 7) ergibt sich für eine von vier untersuchten Stockwerksdecken eine Überschreitung der Anhaltswerte tags und nachts. Bei gleicher Gleislage mit einem Abstand

von 15 m zum Gebäude Am Felde 70 verändern sich die Immissionen der betreffenden Stockwerksdecke in Abhängigkeit der Zugverkehrshäufigkeit tags um -3 % und nachts um +4 %. Die Erhöhung nachts liegt mit +4 % unterhalb der Differenzierungsschwelle von 25 %, so dass für diesen Fall die Beurteilungskriterien eingehalten werden.

Unter Berücksichtigung der möglichen Erhöhung der Erschütterungs-Emissionen bei der Überfahrt der 70 m in Richtung Westen verlegten Weiche 701 (Tabelle 8) 21 m vom Gebäude Am Felde 70 entfernt, ergeben sich zur Situation ohne Weiche vergleichbare Ergebnisse. Demnach ergibt sich für eine Stockwerksdecke eine Überschreitung und dort eine Veränderung der Immissionen von tags um -3 % und nachts um +4 %. Die Erhöhung nachts liegt mit +4 % unterhalb der Differenzierungsschwelle von 25 %, so dass für diesen Fall die Beurteilungskriterien eingehalten werden.

Für den Prognose-Planfall mit den S-Bahn-Emissionen ohne und mit Weiche (Tabelle 9 und Tabelle 10) ergibt sich eine Einhaltung der betreffenden Anhaltswerte. Hier liegt aufgrund der Einhaltung der Anhaltswerte eine Einhaltung der Beurteilungskriterien vor.

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.

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 liegt eine Einhaltung der Beurteilungskriterien vor.

Messobjekt 07 Am Felde 70 Vergleich Nullfall Lint54 15 m mit Planfall Lint54 15 m							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTr}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
Anforderung	Zeile 4	0,07	0,05	35		25	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP1 EG Arbeitszimmer Feldrand	Nullfall	0.036	0.025	20.4	19.5	17.3	16.3
	Planfall	0.035	0.026	20.1	19.2	17.6	16.6
	Δ	-3%	4%	-0.3	-0.3	0.3	0.3
MP2 OG Schlafzimmer	Nullfall	0.060	0.042	17.1	16.9	14.0	13.8
	Planfall	0.058	0.043	16.8	16.6	14.3	14.1
	Δ	-3%	4%	-0.3	-0.3	0.3	0.3
MP3 OG Kinderzimmer	Nullfall	0.088	0.061	20.1	19.3	17.0	16.1
	Planfall	0.085	0.064	19.8	19.0	17.3	16.5
	Δ	-3%	4%	-0.3	-0.3	0.3	0.3
MP4 DG Gästezimmer	Nullfall	0.063	0.044	19.6	18.8	16.4	15.7
	Planfall	0.061	0.045	19.3	18.5	16.7	16.0
	Δ	-3%	4%	-0.3	-0.3	0.3	0.3
MP5 EG Arbeitszimmer Feldmitte	Nullfall	0.067	0.046	22.1	20.8	18.9	17.6
	Planfall	0.064	0.048	21.8	20.5	19.2	18.0
	Δ	-3%	4%	-0.3	-0.3	0.3	0.3
MP6 EG Wohnzimmer Feldrand	Nullfall	0.047	0.033	17.9	17.5	14.7	14.4
	Planfall	0.045	0.034	17.6	17.2	15.1	14.7
	Δ	-3%	4%	-0.3	-0.3	0.3	0.3

Tabelle 7: Messobjekt 07 Am Felde 70 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54

Messobjekt 07 Am Felde 70 Vergleich Nullfall Lint54 15 m mit Planfall Lint54 mit Weiche 21 m							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTr}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
Anforderung	Zeile 4	0,07	0,05	35		25	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP1 EG Arbeitszimmer Feldrand	Nullfall	0.036	0.025	20.4	19.5	17.3	16.3
	Planfall	0.035	0.026	19.6	18.8	17.1	16.3
	Δ	-4%	3%	-0.8	-0.7	-0.1	0.0
MP2 OG Schlafzimmer	Nullfall	0.060	0.042	17.1	16.9	14.0	13.8
	Planfall	0.059	0.044	16.4	16.3	13.9	13.8
	Δ	-1%	7%	-0.7	-0.6	-0.1	0.0
MP3 OG Kinderzimmer	Nullfall	0.088	0.061	20.1	19.3	17.0	16.1
	Planfall	0.087	0.065	19.4	18.6	16.9	16.1
	Δ	-1%	6%	-0.7	-0.6	-0.1	0.0
MP4 DG Gästezimmer	Nullfall	0.063	0.044	19.6	18.8	16.4	15.7
	Planfall	0.061	0.046	18.9	18.2	16.4	15.7
	Δ	-2%	5%	-0.7	-0.6	-0.1	0.0
MP5 EG Arbeitszimmer Feldmitte	Nullfall	0.067	0.046	22.1	20.8	18.9	17.6
	Planfall	0.063	0.048	21.4	20.2	18.9	17.7
	Δ	-5%	2%	-0.6	-0.6	0.0	0.0
MP6 EG Wohnzimmer Feldrand	Nullfall	0.047	0.033	17.9	17.5	14.7	14.4
	Planfall	0.045	0.034	17.3	16.9	14.7	14.4
	Δ	-3%	4%	-0.6	-0.5	0.0	0.1

Tabelle 8: Messobjekt 07 Am Felde 70 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54 mit Weiche

Messobjekt 07 Am Felde 70 Vergleich Nullfall Lint54 15 m mit Planfall S-Bahn 15 m							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTr}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
Anforderung	Zeile 4	0,07	0,05	35		25	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP1 EG Arbeitszimmer Feldrand	Nullfall	0.036	0.025	20.4	19.5	17.3	16.3
	Planfall	0.000	0.000	7.0	9.1	4.5	6.6
	Δ	-100%	-100%	-13.3	-10.3	-12.7	-9.7
MP2 OG Schlafzimmer	Nullfall	0.060	0.042	17.1	16.9	14.0	13.8
	Planfall	0.000	0.000	5.7	8.1	3.1	5.5
	Δ	-100%	-100%	-11.4	-8.8	-10.8	-8.2
MP3 OG Kinderzimmer	Nullfall	0.088	0.061	20.1	19.3	17.0	16.1
	Planfall	0.000	0.000	7.5	9.5	5.0	7.0
	Δ	-100%	-100%	-12.6	-9.8	-12.0	-9.1
MP4 DG Gästezimmer	Nullfall	0.063	0.044	19.6	18.8	16.4	15.7
	Planfall	0.000	0.000	7.1	9.2	4.6	6.7
	Δ	-100%	-100%	-12.5	-9.6	-11.8	-9.0
MP5 EG Arbeitszimmer Feldmitte	Nullfall	0.067	0.046	22.1	20.8	18.9	17.6
	Planfall	0.000	0.000	10.9	12.2	8.4	9.7
	Δ	-100%	-100%	-11.1	-8.6	-10.5	-8.0
MP6 EG Wohnzimmer Feldrand	Nullfall	0.047	0.033	17.9	17.5	14.7	14.4
	Planfall	0.000	0.000	6.8	8.9	4.3	6.4
	Δ	-100%	-100%	-11.1	-8.5	-10.5	-7.9

Tabelle 9: Messobjekt 07 Am Felde 70 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn

Messobjekt 07 Am Felde 70							
Vergleich Nullfall Lint54 15 m mit Planfall S-Bahn mit Weiche 21 m							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTr}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
Anforderung	Zeile 4	0,07	0,05	35		25	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP1 EG Arbeitszimmer Feldrand	Nullfall	0.036	0.025	20.4	19.5	17.3	16.3
	Planfall	0.000	0.000	6.7	8.9	4.2	6.4
	Δ	-100%	-100%	-13.7	-10.6	-13.0	-9.9
MP2 OG Schlafzimmer	Nullfall	0.060	0.042	17.1	16.9	14.0	13.8
	Planfall	0.000	0.000	5.5	7.9	3.0	5.4
	Δ	-100%	-100%	-11.6	-9.0	-11.0	-8.4
MP3 OG Kinderzimmer	Nullfall	0.088	0.061	20.1	19.3	17.0	16.1
	Planfall	0.000	0.000	7.3	9.3	4.8	6.8
	Δ	-100%	-100%	-12.8	-9.9	-12.2	-9.3
MP4 DG Gästezimmer	Nullfall	0.063	0.044	19.6	18.8	16.4	15.7
	Planfall	0.000	0.000	6.9	9.0	4.4	6.5
	Δ	-100%	-100%	-12.7	-9.8	-12.1	-9.2
MP5 EG Arbeitszimmer Feldmitte	Nullfall	0.067	0.046	22.1	20.8	18.9	17.6
	Planfall	0.000	0.000	10.8	12.0	8.2	9.5
	Δ	-100%	-100%	-11.3	-8.7	-10.7	-8.1
MP6 EG Wohnzimmer Feldrand	Nullfall	0.047	0.033	17.9	17.5	14.7	14.4
	Planfall	0.000	0.000	6.6	8.8	4.1	6.3
	Δ	-100%	-100%	-11.2	-8.7	-10.6	-8.0

Tabelle 10: Messobjekt 07 Am Felde 70 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn mit Weiche

6.1.3 Am Felde 89, Ellerau

Das Grundstück mit dem Gebäude Am Felde 89 in Ellerau befindet sich in einem allgemeinen Wohngebiet, so dass die Anforderungen gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 4 für Wohngebiete maßgeblich sind.

Die Ergebnisse zeigen für den Prognose-Nullfall mit den Lint54-Emissionen eine Einhaltung der Anhaltswerte A_r gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 4 tags von 0.07 und nachts von 0.05.

Für den Prognose-Planfall mit den Lint54-Emissionen und Weiche (Tabelle 11) ergibt sich für eine von vier übertragenen Stockwerksdecken eine Überschreitung der Anhaltswerte tags und nachts. Bei dem hier um 1 m geringeren Abstand der Gleise von 21 m zum Gebäude Am Felde 89 und der zukünftigen Weiche verändern sich die Immissionen der betreffenden Stockwerksdecke in Abhängigkeit der Zugverkehrshäufigkeit tags um +61 % und nachts um +73 %. Diese Erhöhungen liegen oberhalb der Differenzierungsschwelle von 25 %, so dass für diesen Fall die Beurteilungskriterien nicht eingehalten werden.

Unter Berücksichtigung der Wirksamkeit von besohlenen Schwellen als Maßnahme zum Erschütterungsschutz (Tabelle 12) ergibt sich eine Verminderung der Überschreitung der Anforderungen auf bis zu 14 % über den Anhaltswerten A_r . Die Erhöhung zum Prognose-Nullfall liegt mit +41 % tags und +52 % nachts oberhalb der Differenzierungsschwelle von 25 %, so dass für diesen Fall die Beurteilungskriterien nicht eingehalten werden.

Für den Prognose-Planfall mit den S-Bahn-Emissionen und mit Weiche (Tabelle 13) ergibt sich eine Einhaltung der betreffenden Anhaltswerte. Hier liegt aufgrund der Einhaltung der Anhaltswerte eine Einhaltung der Beurteilungskriterien vor.

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.

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 liegt eine Einhaltung der Beurteilungskriterien vor.

Am Felde 89 Vergleich Nullfall Lint54 22 m mit Planfall Lint54 mit Weiche 21 m							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FT}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
Anforderung	Zeile 4	0,07	0,05	35		25	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP1 EG Arbeitszimmer Feldrand	Nullfall	0.000	0.000	17.2	16.9	14.0	13.8
	Planfall	0.035	0.026	19.6	18.8	17.1	16.3
	Δ	>25%	>25%	2.5	1.9	3.1	2.5
MP2 OG Schlafzimmer	Nullfall	0.037	0.026	14.0	14.5	10.9	11.3
	Planfall	0.059	0.044	16.4	16.3	13.9	13.8
	Δ	61%	73%	2.4	1.8	3.1	2.5
MP3 OG Kinderzimmer	Nullfall	0.054	0.038	16.9	16.8	13.8	13.6
	Planfall	0.087	0.065	19.4	18.6	16.9	16.1
	Δ	61%	73%	2.5	1.9	3.1	2.5
MP4 DG Gästezimmer	Nullfall	0.038	0.027	16.4	16.4	13.3	13.2
	Planfall	0.061	0.046	18.9	18.2	16.4	15.7
	Δ	61%	73%	2.4	1.8	3.1	2.5
MP5 EG Arbeitszimmer Feldmitte	Nullfall	0.039	0.027	19.0	18.4	15.8	15.2
	Planfall	0.063	0.048	21.4	20.2	18.9	17.7
	Δ	62%	74%	2.4	1.8	3.1	2.5
MP6 EG Wohnzimmer Feldrand	Nullfall	0.028	0.020	14.8	15.1	11.7	12.0
	Planfall	0.045	0.034	17.3	16.9	14.7	14.4
	Δ	61%	73%	2.4	1.8	3.0	2.5

Tabelle 11: Am Felde 89 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54 mit Weiche

Am Felde 89							
Vergleich Nullfall Lint54 22 m mit Planfall Lint54 mit Weiche 21 m mit Schwellenbesohlung							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTr}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
Anforderung	Zeile 4	0,07	0,05	35		25	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP1 EG Arbeitszimmer Feldrand	Nullfall	0.000	0.000	17.2	16.9	14.0	13.8
	Planfall	0.029	0.022	16.9	16.7	14.4	14.2
	Δ	>25%	>25%	-0.3	-0.3	0.4	0.4
MP2 OG Schlafzimmer	Nullfall	0.037	0.026	14.0	14.5	10.9	11.3
	Planfall	0.051	0.039	14.4	14.7	11.9	12.2
	Δ	40%	50%	0.4	0.2	1.0	0.9
MP3 OG Kinderzimmer	Nullfall	0.054	0.038	16.9	16.8	13.8	13.6
	Planfall	0.077	0.057	16.9	16.7	14.4	14.1
	Δ	41%	52%	0.0	-0.1	0.6	0.5
MP4 DG Gästezimmer	Nullfall	0.038	0.027	16.4	16.4	13.3	13.2
	Planfall	0.053	0.039	16.7	16.5	14.2	14.0
	Δ	38%	48%	0.3	0.2	0.9	0.8
MP5 EG Arbeitszimmer Feldmitte	Nullfall	0.039	0.027	19.0	18.4	15.8	15.2
	Planfall	0.055	0.041	19.5	18.7	17.0	16.2
	Δ	39%	50%	0.5	0.4	1.2	1.0
MP6 EG Wohnzimmer Feldrand	Nullfall	0.028	0.020	14.8	15.1	11.7	12.0
	Planfall	0.040	0.030	15.6	15.6	13.0	13.1
	Δ	41%	52%	0.7	0.5	1.4	1.1

Tabelle 12: Am Felde 89 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54 mit Weiche und Schwellenbesohlung

Am Felde 89 Vergleich Nullfall Lint54 22 m mit Planfall S-Bahn mit Weiche 21 m							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTr}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
Anforderung	Zeile 4	0,07	0,05	35		25	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP1 EG Arbeitszimmer Feldrand	Nullfall	0.000	0.000	17.2	16.9	14.0	13.8
	Planfall	0.000	0.000	6.7	8.9	4.2	6.4
	Δ	-	-	-10.4	-8.0	-9.8	-7.4
MP2 OG Schlafzimmer	Nullfall	0.037	0.026	14.0	14.5	10.9	11.3
	Planfall	0.000	0.000	5.5	7.9	3.0	5.4
	Δ	-100%	-100%	-8.5	-6.5	-7.9	-5.9
MP3 OG Kinderzimmer	Nullfall	0.054	0.038	16.9	16.8	13.8	13.6
	Planfall	0.000	0.000	7.3	9.3	4.8	6.8
	Δ	-100%	-100%	-9.7	-7.4	-9.0	-6.8
MP4 DG Gästezimmer	Nullfall	0.038	0.027	16.4	16.4	13.3	13.2
	Planfall	0.000	0.000	6.9	9.0	4.4	6.5
	Δ	-100%	-100%	-9.6	-7.4	-9.0	-6.7
MP5 EG Arbeitszimmer Feldmitte	Nullfall	0.039	0.027	19.0	18.4	15.8	15.2
	Planfall	0.000	0.000	10.8	12.0	8.2	9.5
	Δ	-100%	-100%	-8.2	-6.3	-7.6	-5.7
MP6 EG Wohnzimmer Feldrand	Nullfall	0.028	0.020	14.8	15.1	11.7	12.0
	Planfall	0.000	0.000	6.6	8.8	4.1	6.3
	Δ	-100%	-100%	-8.2	-6.3	-7.6	-5.7

Tabelle 13: Am Felde 89 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn mit Weiche

6.1.4 Bahnstraße 132 a-h, Quickborn

Das Grundstück mit dem Gebäude Bahnstraße 132 a-h in Quickborn befindet sich gemäß Bebauungsplan Nr. 104 A der Stadt Quickborn vom 26.11.2012 in einem allgemeinen Wohngebiet, so dass die Anforderungen gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 4 für Wohngebiete maßgeblich sind.

Die Ergebnisse zeigen für den Prognose-Nullfall mit den Lint54-Emissionen eine Einhaltung der Anhaltswerte A_r gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 4 tags von 0.07 und nachts von 0.05.

Für den Prognose-Planfall mit den Lint54-Emissionen und Weiche (Tabelle 14) ergibt sich für eine von vier übertragenen Stockwerksdecken eine Überschreitung der Anhaltswerte tags und nachts. Bei dem gleichen Abstand der Gleise von 22 m zum Gebäude Bahnstraße 132 a-h und der zukünftigen Weichen verändern sich die Immissionen der betreffenden Stockwerksdecke in Abhängigkeit der Zugverkehrshäufigkeit tags um +50 % und nachts um +61 %. Diese Erhöhungen liegen oberhalb der Differenzierungsschwelle von 25 %, so dass für diesen Fall die Beurteilungskriterien nicht eingehalten werden.

Unter Berücksichtigung der Wirksamkeit von besohnten Schwellen als Maßnahme zum Erschütterungsschutz (Tabelle 15) ergibt sich eine Verminderung der Überschreitung der Anforderungen auf bis zu 6 % über den Anhaltswerten A_r . Die Erhöhung zum Prognose-Nullfall liegt mit +32 % tags und +41 % nachts oberhalb der Differenzierungsschwelle von 25 %, so dass für diesen Fall die Beurteilungskriterien nicht eingehalten werden.

Für den Prognose-Planfall mit den S-Bahn-Emissionen und mit Weiche (Tabelle 16) ergibt sich eine Einhaltung der betreffenden Anhaltswerte. Hier liegt aufgrund der Einhaltung der Anhaltswerte eine Einhaltung der Beurteilungskriterien vor.

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.

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 liegt eine Einhaltung der Beurteilungskriterien vor.

Bahnstraße 132 a-h Vergleich Nullfall Lint54 22 m mit Planfall Lint54 mit Weiche 22 m							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTT}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
Anforderung	Zeile 4	0,07	0,05	35		25	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP1 EG Arbeitszimmer Feldrand	Nullfall	0.000	0.000	17.2	16.9	14.0	13.8
	Planfall	0.032	0.024	19.2	18.4	16.6	15.9
	Δ	>25%	>25%	2.0	1.5	2.6	2.1
MP2 OG Schlafzimmer	Nullfall	0.037	0.026	14.0	14.5	10.9	11.3
	Planfall	0.055	0.041	16.0	15.9	13.5	13.4
	Δ	50%	61%	2.0	1.5	2.6	2.1
MP3 OG Kinderzimmer	Nullfall	0.054	0.038	16.9	16.8	13.8	13.6
	Planfall	0.081	0.061	18.9	18.3	16.4	15.7
	Δ	50%	61%	2.0	1.5	2.6	2.1
MP4 DG Gästezimmer	Nullfall	0.038	0.027	16.4	16.4	13.3	13.2
	Planfall	0.057	0.043	18.4	17.9	15.9	15.3
	Δ	50%	61%	2.0	1.5	2.6	2.1
MP5 EG Arbeitszimmer Feldmitte	Nullfall	0.039	0.027	19.0	18.4	15.8	15.2
	Planfall	0.059	0.044	21.0	19.8	18.4	17.3
	Δ	50%	61%	2.0	1.5	2.6	2.1
MP6 EG Wohnzimmer Feldrand	Nullfall	0.028	0.020	14.8	15.1	11.7	12.0
	Planfall	0.042	0.031	16.8	16.6	14.3	14.1
	Δ	50%	61%	2.0	1.5	2.6	2.1

Tabelle 14: Bahnstraße 132 a-h Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54 mit Weiche

Bahnstraße 132 a-h Vergleich Nullfall Lint54 22 m mit Planfall Lint54 mit Weiche 22 m mit Schwellenbesohlung							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTr}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
Anforderung	Zeile 4	0,07	0,05	35		25	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP1 EG Arbeitszimmer Feldrand	Nullfall	0.000	0.000	17.2	16.9	14.0	13.8
	Planfall	0.027	0.020	16.5	16.3	13.9	13.8
	Δ	>25%	>25%	-0.7	-0.6	-0.1	0.0
MP2 OG Schlafzimmer	Nullfall	0.037	0.026	14.0	14.5	10.9	11.3
	Planfall	0.048	0.036	14.0	14.4	11.4	11.8
	Δ	30%	40%	0.0	-0.1	0.6	0.5
MP3 OG Kinderzimmer	Nullfall	0.054	0.038	16.9	16.8	13.8	13.6
	Planfall	0.071	0.053	16.4	16.3	13.9	13.8
	Δ	32%	41%	-0.5	-0.4	0.1	0.2
MP4 DG Gästezimmer	Nullfall	0.038	0.027	16.4	16.4	13.3	13.2
	Planfall	0.049	0.037	16.3	16.2	13.8	13.7
	Δ	28%	38%	-0.1	-0.2	0.5	0.4
MP5 EG Arbeitszimmer Feldmitte	Nullfall	0.039	0.027	19.0	18.4	15.8	15.2
	Planfall	0.051	0.038	19.1	18.4	16.6	15.9
	Δ	29%	39%	0.1	0.0	0.7	0.6
MP6 EG Wohnzimmer Feldrand	Nullfall	0.028	0.020	14.8	15.1	11.7	12.0
	Planfall	0.037	0.028	15.1	15.3	12.6	12.8
	Δ	31%	41%	0.3	0.2	0.9	0.8

Tabelle 15: Bahnstraße 132 a-h Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54 mit Weiche und Schwellenbesohlung

Bahnstraße 132 a-h Vergleich Nullfall Lint54 22 m mit Planfall S-Bahn mit Weiche 22 m							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FT}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
Anforderung	Zeile 4	0,07	0,05	35		25	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP1 EG Arbeitszimmer Feldrand	Nullfall	0.000	0.000	17.2	16.9	14.0	13.8
	Planfall	0.000	0.000	6.3	8.6	3.8	6.0
	Δ	-	-	-10.9	-8.4	-10.3	-7.8
MP2 OG Schlafzimmer	Nullfall	0.037	0.026	14.0	14.5	10.9	11.3
	Planfall	0.000	0.000	5.1	7.6	2.5	5.1
	Δ	-100%	-100%	-8.9	-6.9	-8.3	-6.2
MP3 OG Kinderzimmer	Nullfall	0.054	0.038	16.9	16.8	13.8	13.6
	Planfall	0.000	0.000	6.9	9.0	4.3	6.5
	Δ	-100%	-100%	-10.1	-7.8	-9.5	-7.2
MP4 DG Gästezimmer	Nullfall	0.038	0.027	16.4	16.4	13.3	13.2
	Planfall	0.000	0.000	6.4	8.7	3.9	6.1
	Δ	-100%	-100%	-10.0	-7.7	-9.4	-7.1
MP5 EG Arbeitszimmer Feldmitte	Nullfall	0.039	0.027	19.0	18.4	15.8	15.2
	Planfall	0.000	0.000	10.3	11.7	7.8	9.2
	Δ	-100%	-100%	-8.6	-6.6	-8.0	-6.0
MP6 EG Wohnzimmer Feldrand	Nullfall	0.028	0.020	14.8	15.1	11.7	12.0
	Planfall	0.000	0.000	6.2	8.5	3.7	6.0
	Δ	-100%	-100%	-8.6	-6.6	-8.0	-6.0

Tabelle 16: Bahnstraße 132 a-h Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn mit Weiche

6.1.5 Bahnstraße 134, Quickborn

Das Grundstück mit dem Gebäude Bahnstraße 134 in Quickborn befindet sich gemäß Bebauungsplan Nr. 104 A der Stadt Quickborn vom 26.11.2012 in einem allgemeinen Wohngebiet, so dass die Anforderungen gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 4 für Wohngebiete maßgeblich sind.

Die Ergebnisse zeigen für den Prognose-Nullfall mit den Lint54-Emissionen eine Einhaltung der Anhaltswerte A_r gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 4 tags von 0.07 und nachts von 0.05.

Für den Prognose-Planfall mit den Lint54-Emissionen und Weiche (Tabelle 17) ergibt sich eine Einhaltung der Anhaltswerten A_r tags und nachts. Hier liegt aufgrund der Einhaltung der Anhaltswerte eine Einhaltung der Beurteilungskriterien vor.

Für den Prognose-Planfall mit den S-Bahn-Emissionen und mit Weiche (Tabelle 18) ergibt sich eine Einhaltung der betreffenden Anhaltswerte. Hier liegt aufgrund der Einhaltung der Anhaltswerte eine Einhaltung der Beurteilungskriterien vor.

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.

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 liegt eine Einhaltung der Beurteilungskriterien vor.

Bahnstraße 134							
Vergleich Nullfall Lint54 27 m mit Planfall Lint54 mit Weiche 27 m							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTr}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
Anforderung	Zeile 4	0,07	0,05	35		25	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP1 EG Arbeitszimmer Feldrand	Nullfall	0.000	0.000	15.3	15.5	12.2	12.3
	Planfall	0.017	0.013	17.0	16.8	14.5	14.2
	Δ	>25%	>25%	1.7	1.3	2.4	1.9
MP2 OG Schlafzimmer	Nullfall	0.028	0.020	12.2	13.0	9.1	9.9
	Planfall	0.040	0.030	13.9	14.3	11.4	11.8
	Δ	43%	53%	1.7	1.3	2.4	1.9
MP3 OG Kinderzimmer	Nullfall	0.041	0.029	15.1	15.3	11.9	12.2
	Planfall	0.059	0.044	16.8	16.6	14.3	14.1
	Δ	43%	53%	1.7	1.3	2.4	1.9
MP4 DG Gästezimmer	Nullfall	0.029	0.020	14.6	15.0	11.5	11.8
	Planfall	0.041	0.031	16.4	16.3	13.9	13.7
	Δ	43%	53%	1.7	1.3	2.4	1.9
MP5 EG Arbeitszimmer Feldmitte	Nullfall	0.029	0.020	17.2	17.0	14.1	13.8
	Planfall	0.042	0.031	18.9	18.3	16.4	15.7
	Δ	43%	53%	1.7	1.3	2.4	1.9
MP6 EG Wohnzimmer Feldrand	Nullfall	0.017	0.012	13.1	13.7	9.9	10.6
	Planfall	0.030	0.023	14.8	15.0	12.3	12.5
	Δ	80%	93%	1.7	1.3	2.4	1.9

Tabelle 17: Bahnstraße 134 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54 mit Weiche

Bahnstraße 134 Vergleich Nullfall Lint54 27 m mit Planfall S-Bahn mit Weiche 27 m							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTr}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
Anforderung	Zeile 4	0,07	0,05	35		25	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP1 EG Arbeitszimmer Feldrand	Nullfall	0.000	0.000	15.3	15.5	12.2	12.3
	Planfall	0.000	0.000	4.3	7.0	1.8	4.5
	Δ	-	-	-11.0	-8.5	-10.4	-7.9
MP2 OG Schlafzimmer	Nullfall	0.028	0.020	12.2	13.0	9.1	9.9
	Planfall	0.000	0.000	3.2	6.1	0.7	3.6
	Δ	-100%	-100%	-9.0	-6.9	-8.4	-6.3
MP3 OG Kinderzimmer	Nullfall	0.041	0.029	15.1	15.3	11.9	12.2
	Planfall	0.000	0.000	4.9	7.5	2.4	5.0
	Δ	-100%	-100%	-10.1	-7.8	-9.5	-7.2
MP4 DG Gästezimmer	Nullfall	0.029	0.020	14.6	15.0	11.5	11.8
	Planfall	0.000	0.000	4.5	7.2	2.0	4.6
	Δ	-100%	-100%	-10.1	-7.8	-9.5	-7.2
MP5 EG Arbeitszimmer Feldmitte	Nullfall	0.029	0.020	17.2	17.0	14.1	13.8
	Planfall	0.000	0.000	8.4	10.2	5.9	7.7
	Δ	-100%	-100%	-8.7	-6.7	-8.1	-6.1
MP6 EG Wohnzimmer Feldrand	Nullfall	0.017	0.012	13.1	13.7	9.9	10.6
	Planfall	0.000	0.000	4.4	7.0	1.8	4.5
	Δ	-100%	-100%	-8.7	-6.7	-8.1	-6.1

Tabelle 18: Bahnstraße 134 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn mit Weiche

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 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
Am Felde 70	7	0.41 mm/s	0.78 mm/s

Tabelle 19: 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 0.78 mm/s gemessen (siehe Tabelle 16).

Diese Werte liegen deutlich unterhalb des geringsten Anhaltswertes gemäß DIN 4150 Teil 3 Tabelle 1 Zeile 3 für besonders erschütterungsempfindliche Ge-

bäude für den Fundamentmesspunkt von 3 mm/s sowie des geringsten Anhaltswertes Deckenschwingungen gemäß Tabelle 1 von 20 mm/s bzw. gemäß Tabelle 4 von 10 mm/s.

Aufgrund der deutlichen Unterschreitung der Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 3 bei dem derzeit auftretenden Schienenverkehr und – auch bei einer Erhöhung infolge der Verlegung der Weiche 701 – keine neuen Schäden an den Gebäuden infolge von Schienenverkehrserschütterungen zu erwarten.

7 Zusammenfassende Bewertung

Im Rahmen der Planungen zur Elektrifizierung und des 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.

Aufgrund der Tatsache, dass die S-Bahn-Emissionen an einer anderen Bahnstrecke gemessen wurden, sind für den Prognose-Planfall zusätzlich die bei den Schwingungsmessungen im Untersuchungsgebiet ermittelten Emissionen Lint54 verwendet worden. Die Prognosen mit den Emissionen Lint54 wurden ergänzend durchgeführt, um zu zeigen, welchen Einfluss die Veränderung der Bahnstrecke bei Umsetzung des Vorhabens bei gleichbleibenden Zugfahrzeugen aufweist und stellt eine Abschätzung zu hohen Immissionen dar. Aus gutachterlicher Sicht

dient diese ergänzende Abschätzung zu hohen Immissionen für eine möglichst belastbare Einschätzung der Situation i.S. der betroffenen Anwohner.

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 2030 (Prognose-Nullfall) ohne die Umsetzung des Vorhabens sowie die Umsetzung des Vorhabens (Prognose-Planfall) vorgenommen.

Im PFA 2 ist ein zweigleisiger Ausbau zwischen Quickborn und Ellerau geplant. Der zweigleisige Ausbau endet an dem bereits im Bestand zweigleisigen Haltepunkt Ellerau. In diesem Abschnitt befindet sich das Gebäude Bahnstraße 2 und wurde als Messobjekt untersucht und für die Prognose verwendet.

Darüber hinaus ergeben sich im Osten von Ellerau Änderungen durch den Ausbau des Haltepunktes Tanneneck. Im Zuge dieses Ausbaus sind die Gleise zu verlängern und die Weiche 701 um 70 m in Richtung Westen zu versetzen. Im Einflussbereich der zu versetzenden Weiche befindet sich Wohnbebauung in der Straße Am Felde 70, 89 sowie in der Bahnstraße 132 a-h und 134. Es wurden Schwingungsmessungen sowie darauf beruhende Prognosen im Wohngebäude Am Felde 70 durchgeführt und zur Prognose auf die anderen Gebäude übertragen.

Für die Wohngebäude Am Felde 70 sowie in der Bahnstraße 132 a-h und 134 ändert sich der Abstand zur Gleisachse nicht, während sich dieser für das Gebäude Am Felde 89 um 1 m verringert. Diese Gebäude waren insbesondere bzgl. der Verlegung der Weiche um 70 m in Richtung Westen zu betrachten, da bei der Überfahrt von Weichen im Bereich des Herzstücks und Weichenzungen eine stoßartige Anregung mit einer Erhöhung der Erschütterungsimmissionen auftreten kann.

Für die repräsentativ untersuchten Wohngebäude konnte bis auf zwei Ausnahmen 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 Vorhabens 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.

Für die Wohngebäude [Am Felde 89](#) und [Bahnstraße 132 a-h](#) wurde unter Verwendung der Lint54-Emissionen eine Überschreitung der Anhaltswerte und eine Erhöhung oberhalb der Differenzierungsschwelle von 25 % ermittelt, wobei sich unter Berücksichtigung von besohnten Schwellen als Maßnahme zum Erschütterungsschutz eine Verringerung der Überschreitung der Anhaltswerte auf bis zu 14 % für [Am Felde 89](#) bzw. 6 % für [Bahnstraße 132 a-h](#) oberhalb der Anhaltswerte ergibt. 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 geringere, als die prognostizierten Immissionen zu erwarten sind.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass aus den erschütterungstechnischen Untersuchungen grundsätzlich eine Einhaltung der Beurteilungskriterien für die Einwirkungen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall zu erwarten ist. Für zwei der betrachteten Wohngebäude ergibt sich für eine Abschätzung zur sicheren Seite mit den Lint54-Emissionen und den als Maßnahmen zum Erschütterungsschutz empfohlenen besohnten Schwellen eine Überschreitung der Beurteilungskriterien als Anhaltswertüberschreitung von bis zu 14 % bzw. 6 %. Im Rahmen der Umsetzung des Vorhabens ist mit dem tatsächlichen, gegenüber den Lint 54-Emissionen geringeren S-Bahn-Emissionen von geringeren Immissionen auszugehen.

Die Maßnahme zum Erschütterungsschutz mit besohlenen Schwellen wird von Strecken-km 23,8+65 bis km 23,9+37 im Bereich der zu versetzenden Weiche empfohlen. Eine konkrete Auslegung der Maßnahme erfolgt im Rahmen der Ausführungsplanung zum Oberbau.

Es wird empfohlen, nach der Realisierung des Vorhabens in dem betreffenden Wohngebäude Am Felde 89 und Bahnstraße 132 a-h Schwingungsmessungen zum Nachweis der tatsächlichen Erschütterungen vorzunehmen.