



Gutachten

Projekt 2013146
Inhalt Reaktivierung der Nebenbahn Kiel - Schönberger Strand
Erschütterungstechnische Untersuchung
Dokument 2019-08-20-2013146-N3-4-GA

Erschütterungstechnische Untersuchung: Erschütterungen und Prognose von sekundärem Luftschall aus dem Betrieb der Bahnstrecke Kiel – Schönberger Strand im Rahmen der Planungen für die Reaktivierung im Schienenpersonennahverkehr
Planfeststellungsabschnitt 2: Stadtgrenze Kiel – Schönberger Strand
Bereich Schönberg Messobjekt Höhndorfer Tor 1 a
Bereich Propsteierhagen Messobjekt Lindenstraße 14

Auftraggeber AKN Eisenbahn GmbH
Rudolf-Diesel-Straße 2
24568 Kaltenkirchen 2014

Anmerkung Eine auszugsweise Zitierung ist mit uns abzustimmen
Das Gutachten umfasst 47 Seiten

Datum 20.08.2019

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

USt-IdNr.: DE266720694

Inhaltsverzeichnis

1 Vorhaben und Veranlassung.....	3
2 Planungsunterlagen.....	5
3 Regelwerke.....	5
3.1 Einwirkungen aus Erschütterungen.....	6
3.1.1 Menschen in Gebäuden.....	7
3.1.2 Bauliche Anlagen.....	10
3.1.3 Technische Anlagen.....	15
3.2 Einwirkungen aus sekundärem Luftschall.....	16
4 Messtechnische Untersuchungen.....	20
4.1 Untersuchungsgebiet.....	20
4.2 Messobjekte.....	20
4.3 Schwingungsmessungen.....	21
4.4 Auswertung und Dokumentation.....	22
5 Prognose.....	23
5.1 Vorgehensweise.....	23
5.2 Eingangsdaten.....	25
5.2.1 Emissionsspektren.....	25
5.2.2 Transmission im Gelände.....	28
5.2.3 Transmission Gebäude-Stockwerksdecke.....	29
5.3 Durchführung der Prognose.....	29
5.3.1 Erschütterungen.....	29
5.3.2 Sekundärer Luftschall.....	30
6 Ergebnisse.....	31
6.1 Höhdorfer Tor 1a in Schönberg.....	31
6.1.1 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen.....	31
6.1.2 Einwirkungen auf Menschen bei einzelnen Ereignissen.....	32
6.1.3 Beurteilungsgrößen für die Einwirkung auf Menschen.....	33
6.2 Lindenstraße 14 in Probsteierhagen mit Stoßstelle und Personenzug 60 km/h.....	36
6.2.1 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen.....	36
6.2.2 Einwirkungen auf Menschen bei einzelnen Ereignissen.....	37
6.2.3 Beurteilungsgrößen für die Einwirkung auf Menschen.....	38
6.3 Lindenstraße 14 ohne Stoßstelle und Personenzug 80 km/h.....	41
6.3.1 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen.....	41
6.3.2 Einwirkungen auf Menschen bei einzelnen Ereignissen.....	42
6.3.3 Beurteilungsgrößen für die Einwirkung auf Menschen.....	44
7 Zusammenfassende Bewertung.....	46

1 Vorhaben und Veranlassung

Auf der bestehenden Bahnstrecke Kiel - Schönberger Strand ist die Reaktivierung des Regionalbahnverkehrs als öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV) geplant. Hierzu ist der Betrieb eines regelmäßigen Personenzugverkehrs mit diesel-hydraulischen Triebwagen zwischen den Bahnhöfen Kiel Hauptbahnhof und Schönberger Strand vorgesehen.

Trägerin des Vorhabens ist die AKN Eisenbahn GmbH (AKN) im Auftrag der NAH.SH - Nahverkehrsverbund Schleswig-Holstein GmbH. Im Unterauftrag der AKN wurde die baudyn GmbH mit den erschütterungstechnischen Untersuchungen beauftragt.

Das Vorhaben umfasst eine Ertüchtigung der bestehenden, eingleisigen Bahnstrecke mit der Erneuerung des Fahrwegs sowie der Signaltechnik. Nach der Ertüchtigung der Bahnstrecke sind die Voraussetzungen für zulässige Fahrgeschwindigkeiten zwischen 40 km/h und 80 km/h gegeben. Die Gleislage wird weitgehend in der derzeitigen Lage belassen.

Im Bereich der planfestzustellenden Bereiche handelt es sich um

- Planfeststellungsabschnitt 1: Kiel – Oppendorf,
- Planfeststellungsabschnitt 2: Stadtgrenze Kiel – Schönberger Strand.

In diesem Gutachten wird der Planfeststellungsabschnitt 2 betrachtet.

Im Rahmen der erschütterungstechnischen Untersuchung werden die Einwirkungen von Erschütterungen aus dem Schienenverkehr auf Menschen und auf bauliche Anlagen betrachtet. Hierzu wurden Schwingungsmessungen in repräsentativen Wohngebäuden an der vorhandenen Bahnstrecke vorgenommen und für eine Ermittlung der derzeitigen Immissionen und für eine Prognosen der zukünftigen Immissionen verwendet.

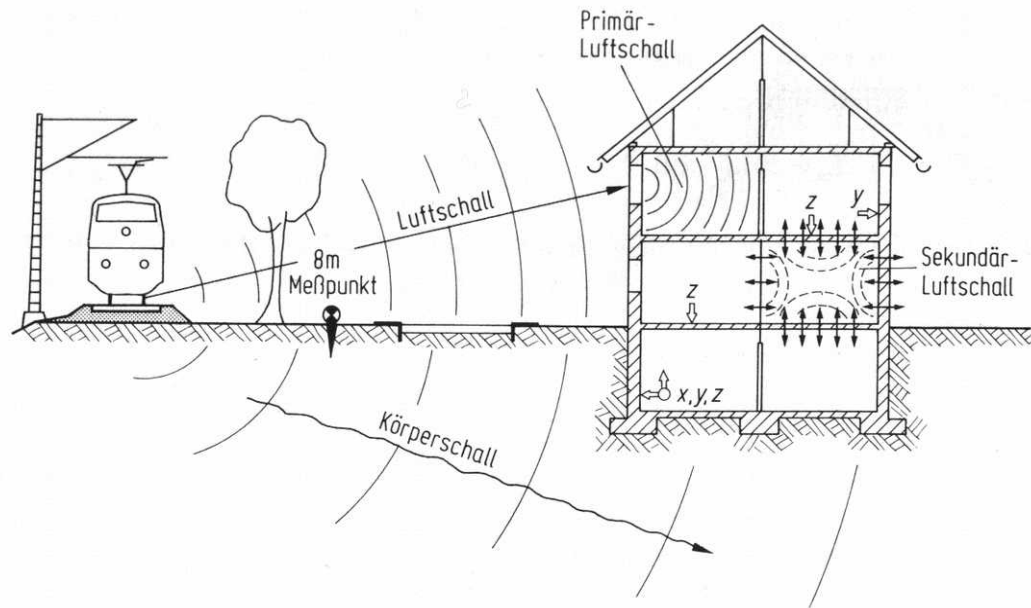


Abbildung 1: Erschütterungsübertragung Bahnstrecke – Gebäude (Taschenbuch der Technischen Akustik)

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

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

Die möglichen Immissionen aus Baubetrieb im Rahmen der Umsetzung der planfestgestellten Maßnahmen sind nicht Gegenstand dieser Untersuchungen.

2 Planungsunterlagen

Von dem Auftraggeber sind folgende Planungsunterlagen zur Verfügung gestellt und für die Durchführung der schwingungstechnischen Untersuchungen verwendet worden:

Unterlage	Verfasser	Datum
Übersichtsplan, Lageplan	AKN Eisenbahn GmbH	12.12.2012 Stand 03/2017
Lagepläne 1:500 Bau-km 7,585 bis 24,058	AKN Eisenbahn GmbH	Stand 02.05.2017
Erläuterungsbericht	AKN Eisenbahn GmbH	28.02.2013
Zugmengengerüst	AKN Eisenbahn GmbH	05.04.2018

Tabelle 1: Planungsunterlagen

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 drei Bereiche in denen Schwingungsmessungen bei Schienenverkehr mit Messpunkten im Gelände und in vorhandenen Wohngebäuden vorgenommen wurden und auf diese Weise die o.g. Ausbreitungseigenschaften 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 vom Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) die „Erschütterungs-Leitlinie“ beschlossen (Mai 2000) und ist in Schleswig-Holstein zur Ermittlung und Beurteilung, ob Erschütterungen schädlich oder belästigend sind, heranzuziehen. Die „Erschütterungs-Leitlinie“ umfasst die Vorgehensweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen für genehmigungsbedürftige und nicht genehmigungsbedürftige Anlagen einschließlich Baustellen.

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

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)

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 (Dezember 2016)

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

Die Erschütterungen infolge von Schienenverkehr werden vom Emissionsort der Bahnstrecke über den Boden übertragen 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, auf 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 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 der Übertragung der Erschütterungen im Gebäude von der Gründung über die Stützen und Wände bis auf die Stockwerksdecken kann in Abhängigkeit von den dynamischen Eigenschaften der Bauteile insbesondere bei den Deckeneigenfrequenzen eine deutliche Verstärkung der Schwingungsamplituden um eine Größenordnung (Faktor 10x) erfolgen; oberhalb dieser so genannten Resonanzfrequenz bzw. -anregung erfolgt eine Verminderung.

3.1.1 Menschen in Gebäuden

Für die Beurteilung, ob die bei Erschütterungsereignissen auftretenden Gebäudeerschütterungen für die sich in den Gebäuden aufhaltenden Menschen eine Belästigung darstellen, sind entsprechend DIN 4150 Teil 2 die prognostizierten maximalen Bewerteten Schwingstärken $KB_{F_{max}}$ heranzuziehen, welche während der

einzelnen Zugvorbeifahrten als Taktmaximalwert KB_{FTi} im ungünstigsten Fall auf den Gebäudedecken auftreten können.

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

Die Anforderungen der Norm sind eingehalten, wenn die gemessenen, maximalen KB_{Fmax} -Werte kleiner oder gleich dem unteren Anhaltswert A_u der Norm sind. Die Anforderungen der Norm sind nicht eingehalten, sofern der obere Anhaltswert A_o überschritten wird. Liegen die gemessenen KB_{Fmax} -Werte zwischen den Anhaltswerten A_u und A_o , so ist zusätzlich eine speziell gemittelte Beurteilungsgröße, die sogenannte Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} , zu ermitteln und mit dem Anhaltswert A_r zu vergleichen.

Die vorstehend genannten Anhaltswerte sind von der Nutzungsart der Gebäude in der örtlichen Umgebung des zu beurteilenden Bauwerks abhängig. Dabei hängt die Einordnung des Bauwerkes also nicht nur von der gegebenen oder geplanten Nutzung des Gebäudes selbst ab. Die Einordnung von Gebäuden wird gemäß der geltenden DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 vorgenommen:

DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“ Tabelle 1 (Ausgabe Juni 1999)							
Zeile	Einwirkungsort	Tags			Nachts		
		A _u	A _o	A _r	A _u	A _o	A _r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete BauNVO, § 9)	0.4	6	0.2	0.3	0.6	0.15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete BauNVO, § 8)	0.3	6	0.15	0.2	0.4	0.1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete BauNVO, § 7, Mischgebiete BauNVO, § 6, Dorfgebiete BauNVO, § 5)	0.2	5	0.1	0.15	0.3	0.07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Wohngebiet BauNVO, § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, § 2)	0.15	3	0.07	0.1	0.2	0.05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen	0.1	3	0.05	0.1	0.15	0.05
In Klammern sind jeweils die Gebiete der Baunutzungsverordnung BauNVO angegeben, die in der Regel den Kennzeichnungen unter Zeile 1 bis 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter Zeile 1 bis 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkungen vorgenommen ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.							

Tabelle 2: 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 (06:00-22:00 Uhr) und für nachts (22:00-06:00 Uhr).

Als Anforderungen für eine Wohnnutzung oder vergleichbare Nutzung kommen i.d.R. die tags und nachts gültigen Anhaltswerte gemäß Zeile 3 oder Zeile 4 der Tabelle 1 in Betracht.

In der DIN 4150 Teil 2 werden in Abschnitt 6.5.3 Angaben zu Erschütterungen durch Schienenverkehr gemacht. Gemäß Abschnitt 6.5.3.5 wird dem oberen Anhaltswert A_o nachts nicht die Bedeutung gegeben, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm nicht eingehalten wären. Liegen jedoch

bei oberirdischem Strecken gebietsunabhängig einzelne Erschütterungsereignisse oberhalb eines Wertes von $KB_{Fmax} = 0.6$ ist nach der Ursache bei der entsprechenden Zugeinheit zu forschen (z.B. Flachstellen). Diese Regelung steht im Einklang mit der besonderen Bedeutung der als Mittelwert über die gesamte Beurteilungszeit tags (06:00-22:00 Uhr) oder nachts (22:00-06:00 Uhr) zu ermittelnden Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} gegenüber den bei Einzelereignissen auftretenden maximalen Bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} .

Im Rahmen von Planfeststellungen zum Neu- und Ausbau von Bahnstrecken haben sich in der Verwaltungsrechtsprechung die im Folgenden beschriebenen Beurteilungsgrundlagen bestätigt und sind daher im vorliegenden Fall anzuwenden.

Eine Einhaltung der Beurteilungskriterien liegt bei einer Einhaltung der Anhaltswerte A_r der DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 durch die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} vor.

Bei dem Ausbau von Bahnstrecken liegt darüber hinaus unabhängig von der Vorbelastung eine Einhaltung der Beurteilungskriterien vor, sofern die zwischen Nullfall (Bestand 2017) und Planfall (Prognose 2030) eine Erhöhung von weniger als 25 % für die Beurteilungs-Schwingstärke zu erwarten ist, da diese Erhöhungen nicht durch den Menschen differenzierbar und daher nicht maßgeblich sind.

Die Rechtmäßigkeit dieser Vorgehensweise wurde vom Bundesverwaltungsgericht für Planfeststellungsverfahren bestätigt (2010) und ist Grundlage der Beurteilungskriterien in der DB Richtlinie 820.2050. „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“.

3.1.2 Bauliche Anlagen

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

Darüber hinaus wird ergänzend auf die Schweizer Norm SN 640 312 a „Erschütterungen, Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke“ zurück gegriffen, welche insbesondere im Hinblick auf die Einwirkungsdauer eine differenzierte Vorgehensweise ermöglicht. Die Schweizer Norm SN 640 312 a ist in Deutschland fachlich akzeptiert. In der VDI 2038 (s.o.) wird auf die SN 640 312 a verwiesen und die Richtwerte der SN 640 312 a liegen in der Größenordnung der Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 3¹.

Im Weiteren wird die Vorgehensweise gemäß der DIN 4150 beschrieben.

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 angeregt werden könnten. Als Dauererschütterungen werden alle Erschütterungseinwirkungen definiert, die nicht kurzzeitigen Erschütterungseinwirkungen entsprechen.

Bei Einhaltung der Anhaltswerte der Norm ist infolge der gemessenen Erschütterungen eine Verminderung des Gebrauchswertes nicht zu erwarten. Eine Verminderung des Gebrauchswertes ist nach Abschnitt 4.5 der DIN 4150 Teil 3

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

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 überschrit-

ten 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. ...“

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, für Deckenschwingungen, massiven Bauteilen und unterirdischen Bauwerken sowie erdverlegten Rohrleitungen angegeben. Für Dauererschütterungen werden Anhaltswerte für Messpunkte in der obersten Deckenebene für die Horizontalschwingungen, Deckenschwingungen sowie ein Abminderungsfaktor für erdverlegte Rohrleitungen genannt.

Bei Schienenverkehrserschütterungen wie im vorliegenden Fall mit Personenzügen handelt es sich um kurzzeitige Erschütterungseinwirkungen. In der nachfolgenden Tabelle 3 werden die Anhaltswerte für Gebäude am Fundament, in der obersten Deckenebene sowie für Decken aus der DIN 4150 Teil 3 Tabelle 1 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 <u>und</u> 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 3: DIN 4150 Teil 3 Tabelle 1 Anforderungen für kurzzeitige Einwirkungen auf das Gesamtgebäude

3.1.3 Technische Anlagen

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

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

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

3.2 Einwirkungen aus sekundärem Luftschall

Die Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude können für die Wahrnehmung des Menschen zusätzlich Sekundäreffekte wie das Klirren von Gläsern oder sekundären Luftschall hervorrufen.

Sekundärer Luftschall kann durch die Abstrahlung infolge von Erschütterungsübertragung durch schwingende, den Raum begrenzende Flächen verursacht werden. Darüber hinaus können in Räumen stehende Wellen mit einer deutlichen Erhöhung der Luftschallpegel auftreten. Der sekundäre Luftschall ist im Allgemeinen tieffrequent und kann störend wahrnehmbar sein, insbesondere wenn der primäre Luftschall des Emittenten gering ist.

Wegen der mit höheren Frequenzen zunehmenden Hörfähigkeit des Menschen sind als Anregung im wesentlichen Maschinenschwingungen und Schienenverkehrserschütterungen, seltener Baubetrieb, mit Frequenzen ab der 50 Hz-Terz und höher maßgeblich. Der sekundäre Luftschall wird also erst am Immissionsort emittiert, während der primäre Luftschall am Emissionsort, z.B. Schienenfahrzeug auf der Bahnstrecke, emittiert wird und dann über den Ausbreitungsweg über die Luft zum Immissionsort übertragen wird.

Zur Beurteilung des sekundären Luftschalls aus Schienenverkehr liegen in Deutschland keine explizit geltenden Anforderungen vor. Die Empfehlungen unterschiedlicher Interessensträger weichen deutlich voneinander ab und die bisheri-

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

ge Rechtsprechung der Verwaltungsgerichte ist uneinheitlich. In Blatt 3 der VDI-Richtlinie 2038 wird der Stand der fachlichen Diskussionen erläutert und die in Betracht kommenden Anforderungen angegeben.

In den unterschiedlichen Anforderungen werden teilweise – wie bei Verkehrsräuschen üblich – ausschließlich Beurteilungspegel und teilweise zusätzlich mittlere Maximalpegel als Beurteilungsgröße verwendet. Im Einzelnen handelt es sich in Deutschland um folgende Anforderungen für die in den meisten Fällen maßgebliche Nachtzeit:

- Bei Planfeststellung von oberirdischen Bahnstrecken, u.a. durch Bundesverwaltungsgericht (2010) bestätigt, in Anlehnung an den primären Schienenverkehrslärm gemäß 16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV mit einem Beurteilungspegel für
 - Schlafräume nachts von 30 dB(A), für Wohnräume tags 40 dB(A),
- Anhaltswerte nach VDI 2719: Innenschallpegel für von außen in Aufenthaltsräume eindringenden Schall,
 - Schlafräume nachts in reinen und allgemeinen Wohngebieten, Krankenhaus und Kurgebieten äquivalenter Dauerschallpegel $L_{\text{peq}} = 25 \dots 30$ dB(A) und mittlerer Maximalpegel $L_{\text{pFmax,m}} = 35 \dots 40$ dB(A), in allen übrigen Gebieten $L_{\text{peq}} = 30 \dots 35$ dB(A) und $L_{\text{pFmax,m}} = 40 \dots 45$ dB(A)
 - Wohnräume tagsüber in reinen und allgemeinen Wohngebieten, Krankenhaus und Kurgebieten äquivalenter Dauerschallpegel $L_{\text{peq}} = 30 \dots 35$ dB(A) und mittlerer Maximalpegel $L_{\text{pFmax,m}} = 40 \dots 45$ dB(A), in allen übrigen Gebieten $L_{\text{peq}} = 35 \dots 40$ dB(A) und $L_{\text{pFmax,m}} = 45 \dots 50$ dB(A)
- Bei unterirdischem schienengebundenen ÖPNV üblicherweise Mindestanforderungen in Planfeststellungsverfahren: TA-Lärm Abschnitt 6.2: Immissionsrichtwerte für Immissionsorte innerhalb von Gebäuden bei Körperschallübertragung, gebietsunabhängiger Immissionsrichtwert tags 35 dB(A), lauteste Nachtstunde 25 dB(A), einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen dürfen den Immissionsrichtwert nicht um mehr als 10 dB überschreiten

- Bei unterirdischem Schienenverkehr ist bei Neubauvorhaben eine Anpassung an vorhandene schalltechnische Anforderungen für einen ausreichenden Komfort zu empfehlen: Werte nach DIN 4109 A1 (2001) für Schall aus gebäude-technischen Anlagen, zulässige Schalldruckpegel (in fremden Wohnungen) in schutzbedürftigen Räumen, gebietsunabhängige Maximalpegel in Wohn- und Schlafräumen $\leq 30 \text{ dB(A)}$ – bei erhöhten Anforderungen bis zu 5 dB weniger (üblicherweise um die Differenzierungsschwelle von 3 dB weniger, also 27 dB(A)), in Unterrichts- und Arbeitsräumen $\leq 35 \text{ dB(A)}$

Ein Schienenbonus von 5 dB(A) ist ab 2015 nicht mehr anzusetzen und wird hier nicht bei dem sekundären Luftschall berücksichtigt.

In der ÖNORM S 9012 „Beurteilung der Einwirkung von Schwingungsimmissionen des landgebundenen Verkehrs auf den Menschen in Gebäuden — Schwingungen und sekundärer Luftschall“ (2010) werden konkrete Richtwerte für den sekundären Luftschall angegeben.

Die Richtwerte gemäß ÖNORM S 9012 für ausreichenden Schallschutz betragen in ländlichen Wohngebieten und Schulen (Gebietskategorie 2) sowie in städtischen Wohngebieten (Gebietskategorie 3) für den mittleren Maximalwert nachts (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr) $L_{S_{\max,m}} = 35 \text{ dB(A)}$ bzw. bei ÖPNV-Verkehrsmitteln mit einer mindestens vierstündigen Betriebspause gelten die Werte der Abendzeiten mit 5 dB höheren Werten. Für den energieäquivalenten Dauerschallpegel gelten in Gebietskategorie 2 die Richtwerte nachts $L_{eq} = 25 \text{ dB(A)}$ bzw. in Gebietskategorie 3 nachts $L_{eq} = 30 \text{ dB(A)}$.

Die Richtwerte gemäß ÖNORM S 9012 für guten Schallschutz betragen in ländlichen Wohngebieten und Schulen (Gebietskategorie 2) sowie städtischen Wohngebieten (Gebietskategorie 3) für den mittleren Maximalwert nachts (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr) $L_{S_{\max,m}} = 30 \text{ dB(A)}$ bzw. bei ÖPNV-Verkehrsmitteln mit einer mindestens vierstündigen Betriebspause gelten die Werte der Abendzeiten mit 5 dB höheren Werten. Für den energieäquivalenten Dauerschallpegel gelten in Gebietskategorie 2 die Richtwerte nachts $L_{eq} = 20 \text{ dB(A)}$ bzw. in Gebietskategorie 3 nachts $L_{eq} = 25 \text{ dB(A)}$.

In der Schweizer Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen (BEKS) wird unterschieden zwischen Planungsrichtwerten für neu zu bauende Schienenwege und Immissionsrichtwerten für Um- und Ausbauten. Für reine Wohnnutzung und öffentliche Nutzung (Schulen und Krankenhäuser) gelten die Planungsrichtwerte mit einem Innenraumpegel von tags (16 Stunden) $L_{eq} = 35 \text{ dB(A)}$ und die lauteste Nachtstunde $L_{eq} = 25 \text{ dB(A)}$. Für Mischzonen, städtische Kernzonen, ländliche Dorfzonen, Landwirtschaftszonen, vorbelastete reine Wohnzonen gelten die Planungsrichtwerte mit einem Innenraumpegel von tags (16 Stunden) $L_{eq} = 40 \text{ dB(A)}$ und die lauteste Nachtstunde $L_{eq} = 30 \text{ dB(A)}$. Die Immissionsrichtwerte liegen jeweils 5 dB höher.

Es ist üblich primären und sekundären Luftschall bzw. unterschiedliche Emittenten, wie z.B. Schienenverkehr und gebäudetechnische Anlagen, getrennt zu bewerten. Wobei sich im Fall von oberirdischen Bahnstrecken in Schallmessungen bei geschlossenen Fenstern der um die Dämmung der Außenbauteile verminderte primäre Luftschall und der sekundäre Luftschall überlagern.

Im Rahmen von Planfeststellungen zum Neu- und Ausbau von Bahnstrecken hat sich in der Verwaltungsrechtsprechung haben sich die im Folgenden beschriebenen Beurteilungsgrundlagen bestätigt und ist daher im vorliegenden Fall anzuwenden.

Eine Einhaltung der Beurteilungskriterien liegt bei einer Einhaltung der aus der 16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV abgeleiteten Immissionsrichtwerte durch den Mittelungspegel L_m vor.

Bei dem Ausbau von Bahnstrecken liegt darüber hinaus unabhängig von der Vorbelastung eine Einhaltung der Beurteilungskriterien vor, sofern die zwischen Nullfall (Bestand 2017) und Planfall (Prognose 2030) eine Erhöhung von weniger als 3 dB für den Mittelungspegel zu erwarten ist, da diese Erhöhungen nicht durch den Menschen differenzierbar und daher nicht maßgeblich sind.

Die Rechtmäßigkeit dieser Vorgehensweise wurde vom Bundesverwaltungsgericht für Planfeststellungsverfahren bestätigt (2010) und ist Grundlage der Beurteilungskriterien in der DB Richtlinie 820.2050. „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“.

4 Messtechnische Untersuchungen

4.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet ergibt sich im vorliegenden Fall aus den an der vorhandenen Bahnstrecke geplanten Änderungen im Einflussbereich von Wohnbebauung, für welche eine Betrachtung der zu erwartenden Veränderungen der Immissionen erforderlich ist.

In diesem Gutachten wird der Abschnitt im Kreis Plön zwischen Stadtgrenze Kiel und Schönberger Strand mit den Messobjekten in Schönberg mit dem Wohngebäude Höhndorfer Tor 1 a und in Propsteierhagen mit dem Wohngebäude Lindenstraße 14 betrachtet.

Die abschnittswisen Maßnahmen zur Linienverbesserung befinden sich nicht im Einflussbereich von Wohngebäuden.

Der Neu und Umbau von Haltepunkten bzw. Bahnhöfen hat ausschließlich in Schönkirchen eine Veränderung der Gleislage mit geringeren Abständen zu Wohngebäuden zur Folge.

In diesem Streckenabschnitt liegen derzeit unverschweißte Schienen mit Schienenstößen vor.

4.2 Messobjekte

Als repräsentative Messobjekte wurden das Wohngebäude Höhndorfer Tor 1 a und Lindenstraße 14 ausgewählt.

Das Gebäude Höhndorfer Tor 1 a wurde in Ende der 1990er bzw. Anfang der 2000er Jahre als Mehrfamilienhaus mit zwei Eingängen und insgesamt etwa 12 Wohnungen erbaut. Es wurde mit Stahlbetondecken gebaut, ist nicht unterkellert, umfasst ein Erdgeschoss, ein Obergeschoss und ein bewohntes Dachgeschoss. Die Lage des Gebäudes ist unmittelbar neben dem Bahnhof Schönberg, der im Rahmen des Vorhabens umgebaut werden soll. Der Abstand des Gebäudes zur Gleisachse beträgt derzeit 8 m und 11.5 m sowie in der Planung für das Vorhaben 6 m und 11.5 m. In diesem Streckenbereich handelt es sich um das am nächsten an der Bahnstrecke gelegene Wohngebäude.

Bei dem Gebäude Lindenstraße 14 handelt es sich um ein Einfamilienhaus mit Stahlbetonkellerdecken sowie in den darüber liegenden Geschossen mit Holzbalkendecken, ist unterkellert, umfasst ein Erdgeschoss und ein bewohntes Dachgeschoss. Auf dem Grundstück Lindenstraße 14 befindet sich unmittelbar an der östlichen Giebelwand eine Garage. Der Abstand des Gebäudes zur Gleisachse beträgt ca. 15 m für den Bestand und die Planung des Vorhabens. Westlich des Gebäudes ist ein Betriebsbahnhof mit einem weiteren, dem Gebäude abgewandeten, Gleis geplant. Dieses Gleis wird in Fahrtrichtung Kiel über eine unmittelbar neben dem Gebäude geplante Lindenstraße 14 neue Weiche angebunden.

4.3 Schwingungsmessungen

Die Schwingungsmessungen wurden am 15.01.2014 im Messobjekt Höhndorfer Tor 1 und am 28. und 29.01.2014 im Messobjekte Lindenstraße 14 durchgeführt. Der Messzeitraum lag im Messobjekt Höhndorfer Tor 1 in einer Periode ohne Frost sowie im Messobjekte Lindenstraße 14 in einer Periode mit Nachtfrost. Auf dem Gelände des Messobjektes Lindenstraße 14 wurde beim Setzen sowie beim Rückbau des Erdspießes für den Geländemesspunkt in ein Spaten tiefes Loch festgestellt, dass kein Bodenfrost vorlag.

Die Messpunkte wurden in Anlehnung an die DIN 4150 Teil 2 und Teil 3 mit einem Messpunkt am Fundament bzw. auf der Gebäudesohle, in der obersten Ge-

schossebene zweifach horizontal sowie auf Deckenfeldern in verschiedenen Geschossebenen vorgenommen.

Im Gelände des Grundstücks Höhndorfer Tor 1 wurden zwei Messpunkte unterhalb der Deckschicht auf Erdspießen in 8 m und 16 m von der Gleisachse eingesetzt. Bei dem Messobjekt Lindenstraße 14 wurde unmittelbar an der Grundstücksgrenze ein Messpunkt auf einem Erdspieß in 8 m von der Gleisachse eingesetzt.

Die Schwingungsmessungen wurden bei gezielten Vorbeifahrten von einem diesel-hydraulischen Triebwagen, wie es für den Regionalbahnverkehr als öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV) vorgesehen ist, durchgeführt.

4.4 Auswertung und Dokumentation

Die Auswertung der Schwingungsmessungen wurde getrennt in Grunderschütterung, Personenzugverkehr, Güterzugverkehr und Straßenverkehr dargestellt. Für die einzelnen Emissionsgruppen wurde jeweils eine Ergebnistabelle für die Schwinggeschwindigkeit $v_{\max}$, die maximale Bewertete Schwingstärke $KB_{F_{\max}}$ angegeben sowie eine Darstellung repräsentativer Messungen der Schwinggeschwindigkeit im Zeit- und Frequenzbereich vorgenommen.

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

Zur prognostischen Abschätzung des sekundären Luftschalls aus den Schwingungsmessungen wurden die Signale der Fundamentmesspunkte in Form von Terzschnellepegeln verwendet. Die Terzschnellepegel werden durch Filterung in den einzelnen Frequenzterzen als maximale und als energieäquivalente Pegel mit einer Effektivwertbildung unter Verwendung der Zeitkonstante $\tau = 0.125$ 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 der DB Richtlinie 820.2050 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 Übertragung in das Gebäude bis zur Immission werden entweder im Rahmen der konkreten Untersuchungen durch Schwingungsmessungen vor Ort bzw. an einem Vergleichsstandort messtechnisch ermittelt oder als empirische Angaben aus Richtlinien bzw. Veröffentlichungen verwendet, z.B. einer mittleren Übertragungsfunktion 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 Schallab-

strahlung der raumbegrenzenden Bauteile zu treffen; hierzu wird auf empirische Angaben aus Richtlinien bzw. Veröffentlichungen 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 $KB_{FT,r}$, 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 820.2050 zur Prognose des sekundären Luftschall aus dem Schienenverkehr verwendeten empirischen Beziehung zwischen Schwingungen und abgestrahltem sekundären Luftschall hingewiesen.

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

Im vorliegenden Fall wurden die maßgeblichen Größen – die Erschütterungs-Emissionen, die Transmission der Erschütterungen im Boden, vom Boden in das Gebäude sowie innerhalb des Gebäudes – im Untersuchungsgebiet messtechnisch ermittelt. Aus diesem Grund ist von einer Einschränkung der Prognoseunsicherheit auf gering bis mittel bzw. weniger als 3 dB bis 6 dB auszugehen.

5.2 Eingangsdaten

5.2.1 Emissionsspektren

Als Eingangsgröße für die Prognosen werden im vorliegenden Fall gemessene Emissionsspektren verwendet.

Die Schwingungsmessungen bei gezielten Fahrten des diesel-hydraulischen Triebwagens wurden für die Prognose des Personenverkehrs angesetzt.

Der Museumszug verkehrte im Untersuchungszeitraum mit den Schwingungsmessungen nicht. Für die Prognose des Museumszuges wurden die im Planfeststellungsabschnitt 1 auf dem Grundstück im Gelände von Messobjekt Grabastraße 83-85 gemessenen Terzschnellepegel verwendet. Diese Vorgehensweise wurde im Planfeststellungsabschnitt 1 ebenfalls gewählt, da für den Museumszug, insbesondere für die Lok im Vergleich zu dem diesel-hydraulischen Triebwagen von einer höheren Achslast und eines uneinheitlichen Wartungszustands der Radsätze auszugehen ist und man sich diesbezüglich an der Lok und den Wagons der Güterzüge orientieren kann.

Gemäß der DB Richtlinie 820.2050 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.

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

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

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

angegeben.

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

Die Abschätzung wird verwendet, um die bei einer Fahrgeschwindigkeit gemessenen Emissionsspektren für die Prognose an andere Fahrgeschwindigkeiten anzupassen.

Im Bereich des Messobjektes Höndorfer Tor 1a befindet der Bahnhof Schönberg haben die Schwingungsmessungen bei der auch für die Umsetzung des Vorhabens geplanten Fahrgeschwindigkeit des Personenzuges stattgefunden, so dass keine Anpassung erforderlich ist. Die dortige Fahrgeschwindigkeit beträgt aufgrund der Ein- bzw. Ausfahrt in den unmittelbar benachbarten Bahnhof Schönberg 40 km/h.

Für das Messobjekt Lindenstraße 14 wurden die bei Vorbeifahrten des Personenzuges mit bis zu 40 km/h gemessenen Terzsnellepegel auf 60 km/h hochgerechnet. Vor dem Hintergrund, dass die Zugvorbeifahrten wegen der winterlich kalten Witterung über große Schienenstoßlücken unmittelbar vor dem Messobjekt Lindenstraße 14 stattgefunden haben, stellen die für die Prognose verwendeten Emis-

¹ Schwingungsgeschwindigkeitsamplitude in logarithmischer Pegeldarstellung

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

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

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

sionsspektren eine Abschätzung zur sicheren Seite dar. In der Lindenstraße 14 ist wegen des geplanten Bahnhofs Probsteierhagen von einer Fahrgeschwindigkeit von 60 km/h auszugehen.

Darüber hinaus wurde eine ergänzende Prognose mit den Personenzug-Emissionen aus der Lindenstraße 14 ohne Stoßstelle und mit einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h vorgenommen. Diese Prognose dient zur Abschätzung der Immissionen in Streckenabschnitten mit einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h und ohne Stoßstelle. Aufgrund des aus der Lindenstraße 14 beibehaltenen Abstands Gleisachse-Gebäude handelt es sich um eine Abschätzung zur sicheren Seite, da die anderen Gebäude an der Strecke größere Ausbreitungsabstände aufweisen.

Die Anpassung der Personenzug-Emissionen auf 80 km/h wurde gemäß der o.g. Beziehung für ΔL_u vorgenommen. Die Beziehung für ΔL_u ist bis zu einem Verhältnis $u/u_0=1.5$ vorgesehen. Bei der Anpassung auf höhere Fahrgeschwindigkeiten ist eine Anpassung der spektralen Eigenschaften der Emissionen zu prüfen, um z.B. von der Fahrgeschwindigkeit abhängige Terzpegelspitzen auf höhere Terz-Frequenzen zu verschieben. Im vorliegenden Fall handelt es sich bei den Ausgangs-Emissionen um ein breites Spektrum, so dass keine Anpassung vorgenommen wurde.

Die Stoßstelle wurde über die Beziehung zur Berücksichtigung der Überfahrt von Weichen aus dem Personenzug-Emissionen herausgerechnet. In Abhängigkeit von dem Abstand d des Gebäudes von der Weiche bzw. Stoßstelle in Metern kann die Veränderung, also die Erhöhung bzw. Verminderung der Erschütterungsimmissionen ΔL_{Weiche} folgendermaßen abgeschätzt werden (m : Einheit Meter):

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

Der Güterzugverkehr fuhr bei den Schwingungsmessungen im Planfeststellungsabschnitt 1 mit einer Fahrgeschwindigkeit von bis zu 60 km/h und wurde aus den Schwingungsmessungen ohne Korrekturen der Fahrgeschwindigkeit für die Prognose des Museumszugs verwendet, für den von einer Fahrgeschwindigkeit von 60 km/h auszugehen wird.

5.2.2 Transmission im Gelände

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

Die Abhängigkeit der Erschütterungsamplitude mit dem Abstand wird als Faktor angewendet. Entsprechend der DIN 4150 Teil 1 bzw. den Empfehlungen des Arbeitskreises 1.4 „Baugrunddynamik“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik wird die Abschätzung vorgenommen mit:

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

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,

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,

f Frequenz in Hz, angesetzt in Terzen

Im vorliegenden Fall ist eine Abstandskorrektur an den Emissionsspektren für die Umsetzung des Vorhabens für die veränderte Gleislage für das Messojekt Höhn-dorfer Tor 1a vorzunehmen. Die Parameter wurden aus den Schwingungsmessungen auf den dortigen Messpunkten in unterschiedlichen Abständen zur Gleisachse zu folgenden Werten ermittelt:

$$n = 0.2$$

$$D = 0.04$$

$$c = 150 \text{ m/s}$$

5.2.3 Transmission Gebäude-Stockwerksdecke

Die Erschütterungen wurden in den betreffenden Gebäuden gemessen, so dass für die Prognose keine Übertragung vom Gelände in das Gebäude und auf die Stockwerksdecken erforderlich ist.

Zur prognostischen Abschätzung des sekundären Luftschalls ist eine Übertragung von dem Fundamentmesspunkt der betreffenden Gebäude auf die in den Räumen schallabstrahlenden Bauteile vorzunehmen. Diese Übertragung wird mit der Übertragungsfunktion Gebäudesohle-Decke aus dem Taschenbuch der Technischen Akustik¹ mit einer Variation der Bauteileigenfrequenz angesetzt.

5.3 Durchführung der Prognose

5.3.1 Erschütterungen

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

In dem Untersuchungsgebiet ist für die Prognose der zukünftig zu erwartenden Erschütterungen neben dem Museumszugverkehr der Personenzugverkehr als weitere Zuggattung sowie unter Berücksichtigung der Zugverkehrshäufigkeit die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{FT,r}$ zu ermitteln.

Die Zugverkehrshäufigkeit wurde für den Nullfall der Bestand 2017 für tags zwischen 06:00 Uhr und 22:00 Uhr mit 16 Personenzugfahrten und 2 Museumsbahnfahrten sowie nachts zwischen 22:00 Uhr und 6 Uhr mit 4 Personenzugfahrten und 0 Museumsbahnfahrten angesetzt.

Die zukünftige Zugverkehrshäufigkeit wurde für den Planfall mit dem Prognosehorizont 2030 für tags zwischen 06:00 Uhr und 22:00 Uhr mit 32 Personenzugfahrten und 2 Museumsbahnfahrten sowie nachts zwischen 22:00 Uhr und 06:00 Uhr mit 10 Personenzugfahrten und 0 Museumsbahnfahrten angesetzt.

¹ Springer-Verlag, 2. Auflage 1994 bzw. 3. Auflage 2004

Die Zugverkehrshäufigkeit ist in der nachfolgenden Tabelle angegeben.

Zugverkehrshäufigkeit		
Beurteilungstakte T_r	Tags 6-22 Uhr $T_r = 1920$	Nachts 22-6 Uhr $T_r = 960$
Schienenverkehr	Einwirkтакты T_e Summe beider Richtungen	
Nullfall: Bestand 2017		
Personenzug (RV-VT)	16	4
Museumszug (RV-VT)	2	0
Planfall: Prognose 2030		
Personenzug (RV-VT)	32	10
Museumszug (RV-VT)	2	0

Tabelle 4: Zugverkehrshäufigkeit

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

5.3.2 Sekundärer Luftschall

Die Prognose des sekundären Luftschalls erfolgte ausgehend von den für Stockwerksdecken prognostizierten Terzschnellepegeln gemäß der aktuellen Veröffentlichungen „Ermittlung des sekundären Luftschalls aus dem Schienenverkehr“¹ und der DB Richtlinie 820.2050².

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

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

² 01.01.2017, Deutsche Bahn AG

Zur Prognose des sekundären Luftschalls mit dem Verfahren des Schnelle-Summenpegels (Einzahlmethode) werden die ermittelten Schwingungen der raumbegrenzenden Flächen zur Berücksichtigung der geringen Hörempfindlichkeit des Menschen bei niedrigen Frequenzen mit der A-Kurve bewertet und der Summenpegel gebildet. Aus dem Summenpegel wird eine in Holzbalkendecken und Betondecken unterschiedene Formel angewendet, um den maximalen Vorbeifahrtspegel des sekundären Luftschalls abzuschätzen. Zur Ermittlung des Summenpegels werden die Terzen von 25 Hz bis 100 Hz berücksichtigt.

Ausgehend von den prognostisch ermittelten Maximalpegeln L_{Fmax} werden unter Berücksichtigung der Zughäufigkeit zusätzlich die Mittelungspegel L_m ermittelt.

6 Ergebnisse

6.1 Höhdorfer Tor 1a in Schönberg

6.1.1 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen

Zur Beurteilung der Einwirkungen von Schienenverkehrserschütterungen auf die bauliche Anlage des Wohngebäudes sind die maximalen Werte der Schwinggeschwindigkeit maßgeblich und in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

2013146 AKN Kiel Schönberger Strand, Höhdorfer Tor 1a		
	Erschütterungen	
Prognose	$v_{\max}$ in mm/s	
	Personenzug	Museumszug (Güterzug)
Nullfall Bestand 2017 Fundament	0.12	0.72
Planfall Prognose 2030 Fundament	0.15	0.80
Nullfall Bestand 2017 MP3 Z EG Kinderzimmer	0.35	0.88
Planfall Prognose 2030 MP3 Z EG Kinderzimmer	0.45	1.00
Nullfall Bestand 2017 MP4 Z DG Schlafzimmer	0.20	1.14
Planfall Prognose 2030 MP4 Z DG Schlafzimmer	0.23	1.27

Tabelle 5: Gebäude Höhdorfer Tor 1a Ergebnistabelle Schwinggeschwindigkeit $v_{\max}$

Zunächst ist festzustellen, dass die Erschütterungseinwirkungen für den, aus dem Güterzugverkehr im Planfeststellungsabschnitt 1 prognostizierten, bestehenden Museumszugverkehr höher sind, als durch den zukünftig zusätzlich geplanten Personenzugverkehr. Die maximalen gemessenen und prognostizierten Schwingungsamplituden liegen deutlich unterhalb der niedrigsten Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 3 gemäß Tabelle 1 Zeile 3, welche für besonders erschütterungsempfindliche und denkmalgeschützte Gebäude gelten. Aufgrund der deutlichen Unterschreitung der Anhaltswerte ist davon auszugehen, dass infolge der gemessenen und prognostizierten Schienenverkehrserschütterungen keine neuen Schäden an dem Gebäude verursacht werden.

6.1.2 Einwirkungen auf Menschen bei einzelnen Ereignissen

Entsprechend der aktuellen Verwaltungsrechtsprechung werden die maximalen Einwirkungen von Erschütterungen und sekundärem Luftschall auf Menschen in Gebäuden nicht als Beurteilungsgrößen herangezogen. Die Angabe der maximalen Einwirkungen bei einzelnen Ereignissen wird nachfolgend beschreibend vorgenommen und die Beurteilungsgrößen werden in Kapitel 6.1.3 angegeben.

Die maximalen Einwirkungen von Erschütterungen und sekundärem Luftschall auf Menschen werden für das Gebäude Höndorfer Tor 1a in der nachfolgenden Tabellen angegeben.

2013146 AKN Kiel Schönberger Strand, Höndorfer Tor 1a				
	Erschütterungen		sekundärer Luftschall	
Prognose	$KB_{Fmax, Beton, m}$		$L_{Fmax, Beton, m}$ in dB(A)	
	Personenzug	Museumszug (Güterzug)	Personenzug	Museumszug (Güterzug)
Nullfall Bestand 2017 Fundament	0.05	0.28	27.5	26.5
Planfall Prognose 2030 Fundament	0.06	0.31	28.9	27.5
Nullfall Bestand 2017 MP3 Z EG Kinderzimmer	0.15	0.35	35.8	33.2
Planfall Prognose 2030 MP3 Z EG Kinderzimmer	0.19	0.40	37.2	34.4
Nullfall Bestand 2017 MP4 Z DG Schlafzimmer	0.08	0.45	28.9	28.0
Planfall Prognose 2030 MP4 Z DG Schlafzimmer	0.09	0.50	30.6	29.0

Tabelle 6: Gebäude Höndorfer Tor 1a Ergebnistabelle Einzelereignisse,
max. Bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} u. Maximalpegel L_{max}

Infolge des bestehenden Museumszugverkehrs werden deutlich höhere Werte der maximalen Bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} prognostiziert, als durch den zukünftig zusätzlich geplanten Personenzugverkehr. Demnach erhöhen sich die Werte der maximalen Bewerteten Schwingstärke durch den geplanten Personenzugverkehr nicht.

Für den sekundären Luftschall ergeben sich aufgrund der Frequenzzusammensetzung hingegen für den geplanten Personenzugverkehr etwas höhere Maximalpegel, als für den bestehenden Museumszugverkehr.

6.1.3 Beurteilungsgrößen für die Einwirkung auf Menschen

Die Beurteilungsgrößen für die Einwirkung von Erschütterungen und sekundärem Luftschall beziehen sich auf die tags bzw. nachts gemittelte Einwirkung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} und den Mittelungspegel L_m .

Eine Einhaltung der Beurteilungskriterien liegt bei einer Einhaltung der Anhaltswerte A_r der DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 durch die Beurteilungs-Schwingstärke

KB_{FTr} bzw. der aus der 16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV abgeleiteten Immissionsrichtwerte durch den Mittelungspegel L_m vor.

Bei dem Ausbau von Bahnstrecken liegt darüber hinaus unabhängig von der Vorbelastung eine Einhaltung der Beurteilungskriterien vor, sofern die zwischen Nullfall (Bestand 2017) und Planfall (Prognose 2030) eine Erhöhung von weniger als 25 % für die Beurteilungs-Schwingstärke bzw. von weniger als 3 dB für den Mittelungspegel zu erwarten ist, da diese Erhöhungen nicht durch den Menschen differenzierbar und daher nicht maßgeblich sind.

In der nachfolgenden Tabelle sind die für das Gebäude Höhndorfer Tor 1a prognostizierten Einwirkungen zusammengestellt. Es liegt für das Gebäude Höhndorfer Tor 1a keine Gebietsausweisung vor, so dass analog zu schalltechnischen Untersuchungen die Anhaltswerte für ein Mischgebiet gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 3 anzusetzen sind.

2013146 AKN Kiel Schönberger Strand, Höhdorfer Tor 1a				
	Erschütterungen		sekundärer Luftschall	
Anforderungen	DIN 4150 T2 Tab. 1, Zeile 3		16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV	
	A_r		L_m in dB(A)	
	tags	nachts	Wohnräume tags	Schlafräume nachts
	0.10	0.07	40	30
Prognose	$KB_{FT,Beton}$		$L_{m,Beton}$ in dB(A)	
	tags	nachts	tags	nachts
Nullfall Bestand 2017 Fundament	0.008	0.000	5.8	2.3
Planfall Prognose 2030 Fundament	0.009	0.000	9.6	7.3
Änderung in Prozent / in dB	7%	-	3.8 dB	5.0 dB
Nullfall Bestand 2017 MP3 Z EG Kinderzimmer	0.014	0.007	14.0	10.6
Planfall Prognose 2030 MP3 Z EG Kinderzimmer	0.020	0.013	17.8	15.6
Änderung in Prozent / in dB	44%	98%	3.9 dB	5.0 dB
Nullfall Bestand 2017 MP4 Z DG Schlafzimmer	0.013	0.000	7.2	3.6
Planfall Prognose 2030 MP4 Z DG Schlafzimmer	0.014	0.000	11.1	8.9
Änderung in Prozent / in dB	7%	-	4.0 dB	5.2 dB

Tabelle 7: Gebäude Höhdorfer Tor 1a Ergebnistabelle Beurteilungsgrößen, Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT} u. Mittelungspegel L_m

Für die Erschütterungen ergibt sich mit einer Beurteilungs-Schwingstärke von bis zu $KB_{FT} = 0.02$ tags und 0.013 nachts eine deutliche Einhaltung der Anhaltswerte $A_r = 0.1$ tags und 0.07 nachts, so dass unabhängig von der Erhöhung der Immissionen eine Einhaltung der Beurteilungskriterien festgestellt werden kann.

Für den sekundären Luftschall ergibt sich mit Mittelungspegeln von bis zu $L_m = 18$ dB(A) tags und 16 dB(A) nachts eine deutliche Einhaltung der Immissionsrichtwerten IRW 40 dB(A) tags und 30 dB(A) nachts, so dass unabhängig von der Erhöhung der Immissionen eine Einhaltung der Beurteilungskriterien festgestellt werden kann.

Aufgrund der deutlichen Einhaltung der Anhaltswerte bzw. Immissionsrichtwerte kann für das Gebäude Höhdofer Tor 1a eine Einhaltung der Beurteilungskriterien festgestellt werden.

6.2 Lindenstraße 14 in Probsteierhagen mit Stoßstelle und Personenzug 60 km/h

6.2.1 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen

Zur Beurteilung der Einwirkungen von Schienenverkehrserschütterungen auf die bauliche Anlage des Wohngebäudes sind die maximalen Werte der Schwinggeschwindigkeit maßgeblich und in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

2013146 AKN Kiel Schönberger Strand Lindenstraße 14 mit Stoßstelle, Personenzug 60 km/h		
	Erschütterungen	
Prognose	$v_{\max}$ in mm/s	
	Personenzug	Museumszug (Güterzug)
Nullfall Bestand 2017 Fundament	0.33	1.04
Planfall Prognose 2030 Fundament	0.33	1.04
Nullfall Bestand 2017 MP2 Z EG Wohnzimmer	1.30	3.38
Planfall Prognose 2030 MP2 Z EG Wohnzimmer	1.30	3.38
Nullfall Bestand 2017 MP3 Z OG Küche	1.03	4.32
Planfall Prognose 2030 MP3 Z OG Küche	1.03	4.32
Nullfall Bestand 2017 MP4 Z OG Kinderzimmer groß	1.33	3.95
Planfall Prognose 2030 MP4 Z OG Kinderzimmer groß	1.33	3.95

*Tabelle 8: Gebäude Lindenstraße 14 Ergebnistabelle
Schwinggeschwindigkeit $v_{\max}$*

Zunächst ist festzustellen, dass die Erschütterungseinwirkungen für den, aus dem Güterzugverkehr im Planfeststellungsabschnitt 1 prognostizierten, bestehenden Museumszugverkehr höher sind, als durch den zukünftig zusätzlich geplanten Per-

sonenzugverkehr. Die maximalen gemessenen und prognostizierten Schwingungsamplituden liegen deutlich unterhalb der niedrigsten Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 3 gemäß Tabelle 1 Zeile 3, welche für besonders erschütterungsempfindliche und denkmalgeschützte Gebäude gelten. Aufgrund der deutlichen Unterschreitung der Anhaltswerte ist davon auszugehen, dass infolge der gemessenen und prognostizierten Schienenverkehrserschütterungen keine neuen Schäden an dem Gebäude verursacht werden.

6.2.2 Einwirkungen auf Menschen bei einzelnen Ereignissen

Entsprechend der aktuellen Verwaltungsrechtsprechung werden die maximalen Einwirkungen von Erschütterungen und sekundärem Luftschall auf Menschen in Gebäuden nicht als Beurteilungsgrößen herangezogen. Die Angabe der maximalen Einwirkungen auf Menschen bei einzelnen Ereignissen wird nachfolgend beschreibend vorgenommen und die Beurteilungsgrößen werden in Kapitel 6.2.3 angegeben.

Die maximalen Einwirkungen von Erschütterungen und sekundärem Luftschall auf Menschen werden für das Gebäude Lindenstraße 14 in der nachfolgenden Tabellen angegeben.

2013146 AKN Kiel Schönberger Strand Lindenstraße 14 mit Stoßstelle, Personenzug 60 km/h				
			sekundärer Luftschall	
Prognose	$KB_{Fmax, Beton, m}$		$L_{Fmax, Beton, m}$ in dB(A)	
	Personenzug	Museumszug (Güterzug)	Personenzug	Museumszug (Güterzug)
Nullfall Bestand 2017 Fundament	0.13	0.42	26.5	31.5
Planfall Prognose 2030 Fundament	0.13	0.42	26.5	31.5
Nullfall Bestand 2017 MP2 Z EG Wohnzimmer	0.53	1.39	34.3	36.9
Planfall Prognose 2030 MP2 Z EG Wohnzimmer	0.53	1.39	34.3	36.9
Nullfall Bestand 2017 MP3 Z OG Küche	0.43	1.80	35.4	40.9
Planfall Prognose 2030 MP3 Z OG Küche	0.43	1.80	35.4	40.9
Nullfall Bestand 2017 MP4 Z OG Kinderzimmer groß	0.54	1.63	35.5	39.3
Planfall Prognose 2030 MP4 Z OG Kinderzimmer groß	0.54	1.63	35.5	39.3

Tabelle 9: Gebäude Lindenstraße 14 Ergebnistabelle Einzelereignisse, max. Bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} u. Maximalpegel L_{max}

Infolge des bestehenden Museumszugverkehrs werden deutlich höhere Werte der maximalen Bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} prognostiziert, als durch den zukünftig zusätzlich geplanten Personenzugverkehr. Demnach erhöhen sich die Werte der maximalen Bewerteten Schwingstärke durch den geplanten Personenzugverkehr nicht.

Für den sekundären Luftschall ergeben sich ebenfalls für den Museumszugverkehr höhere Pegel als für den geplanten Personenzugverkehr.

6.2.3 Beurteilungsgrößen für die Einwirkung auf Menschen

Die Beurteilungsgrößen für die Einwirkung von Erschütterungen und sekundärem Luftschall beziehen sich auf die tags bzw. nachts gemittelte Einwirkung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} und den Mittelungspegel L_m .

Eine Einhaltung der Beurteilungskriterien liegt bei einer Einhaltung der Anhaltswerte A_r der DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 durch die Beurteilungs-Schwingstärke

KB_{FTr} bzw. der aus der 16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV abgeleiteten Immissionsrichtwerte durch den Mittelungspegel L_m vor.

Bei dem Ausbau von Bahnstrecken liegt darüber hinaus unabhängig von der Vorbelastung eine Einhaltung der Beurteilungskriterien vor, sofern die zwischen Nullfall (Bestand 2017) und Planfall (Prognose 2030) eine Erhöhung von weniger als 25 % für die Beurteilungs-Schwingstärke bzw. von weniger als 3 dB für den Mittelungspegel zu erwarten ist, da diese Erhöhungen nicht durch den Menschen differenzierbar und daher nicht maßgeblich sind.

In der nachfolgenden Tabelle sind die für das Gebäude Lindenstraße 14 prognostizierten Einwirkungen zusammengestellt. Es liegt für das Gebäude Lindenstraße 14 keine Gebietsausweisung vor, so dass analog zu schalltechnischen Untersuchungen die Anhaltswerte für ein Mischgebiet gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 3 anzusetzen sind.

2013146 AKN Kiel Schönberger Strand Lindenstraße 14 mit Stoßstelle, Personenzug 60 km/h				
	Erschütterungen		sekundärer Luftschall	
Anforderungen	DIN 4150 T2 Tab. 1, Zeile 3		16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV	
	A_r		L_m in dB(A)	
	tags	nachts	Wohnräume tags	Schlafräume nachts
	0.10	0.07	40	30
Prognose	$KB_{FT,r,Beton}$		$L_{m,Beton}$ in dB(A)	
	tags	nachts	tags	nachts
Nullfall Bestand 2017 Fundament	0.018	0.009	7.2	2.7
Planfall Prognose 2030 Fundament	0.022	0.014	9.5	6.7
Änderung	20%	58%	2.3 dB	4.0 dB
Nullfall Bestand 2017 MP2 Z EG Wohnzimmer	0.066	0.034	14.4	10.5
Planfall Prognose 2030 MP2 Z EG Wohnzimmer	0.082	0.054	17.0	14.5
Änderung	24%	58%	2.6 dB	4.0 dB
Nullfall Bestand 2017 MP3 Z OG Küche	0.070	0.028	16.2	11.6
Planfall Prognose 2030 MP3 Z OG Küche	0.080	0.044	18.5	15.6
Änderung	14%	58%	2.3 dB	4.0 dB
Nullfall Bestand 2017 MP4 Z OG Kinderzimmer groß	0.072	0.035	15.8	11.7
Planfall Prognose 2030 MP4 Z OG Kinderzimmer groß	0.088	0.055	18.3	15.7
Änderung	21%	58%	2.5 dB	4.0 dB

Tabelle 10: Gebäude Lindenstraße 14 Ergebnistabelle Beurteilungsgrößen, Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{FT,r}$ u. Mittelungspegel L_m

Für die Erschütterungen ergibt sich mit einer Beurteilungs-Schwingstärke von bis zu $KB_{FT,r} = 0.088$ tags und 0.055 nachts eine Einhaltung der Anhaltswerte $A_r = 0.1$ tags und 0.07 nachts, so dass unabhängig von der Erhöhung der Immissionen eine Einhaltung der Beurteilungskriterien festgestellt werden kann.

Für den sekundären Luftschall ergibt sich mit Mittelungspegeln von bis zu $L_m = 18$ dB(A) tags und 16 dB(A) nachts eine deutliche Einhaltung der Immissionsrichtwerten IRW 40 dB(A) tags und 30 dB(A) nachts, so dass unabhängig von

der Erhöhung der Immissionen eine Einhaltung der Beurteilungskriterien festgestellt werden kann.

Aufgrund der deutlichen Einhaltung der Anhaltswerte bzw. Immissionsrichtwerte kann für das Gebäude Lindenstraße 14 eine Einhaltung der Beurteilungskriterien festgestellt werden.

6.3 Lindenstraße 14 ohne Stoßstelle und Personenzug 80 km/h

Es wurde ausgehend von 6.2 eine Prognose mit abweichenden Personenzug-Emissionen aus der Lindenstraße 14 und zwar ohne Stoßstelle und mit einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h vorgenommen. Diese ergänzende Prognose dient zur Abschätzung der Immissionen in Streckenabschnitten mit einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h und ohne Stoßstelle. Aufgrund des aus der Lindenstraße 14 beibehaltenen Abstands Gleisachse-Gebäude handelt es sich um eine Abschätzung zur sicheren Seite, da die anderen Gebäude an der Strecke größere Ausbreitungsabstände aufweisen. Der Museumszug wurde nach wie vor mit 60 km/h durch die Güterzug-Emissionen aus dem Planfeststellungsabschnitt PFA 1 verwendet.

6.3.1 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen

Zur Beurteilung der Einwirkungen von Schienenverkehrserschütterungen auf die bauliche Anlage des Wohngebäudes sind die maximalen Werte der Schwinggeschwindigkeit maßgeblich und in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

2013146 AKN Kiel Schönberger Strand Lindenstraße 14 ohne Stoßstelle, Personenzug 80 km/h		
	Erschütterungen	
Prognose	$v_{\max}$ in mm/s	
	Personenzug	Museumszug (Güterzug)
Nullfall Bestand 2017 Fundament	0.20	0.61
Planfall Prognose 2030 Fundament	0.26	0.61
Nullfall Bestand 2017 MP2 Z EG Wohnzimmer	0.76	1.98
Planfall Prognose 2030 MP2 Z EG Wohnzimmer	1.01	1.98
Nullfall Bestand 2017 MP3 Z OG Küche	0.60	2.54
Planfall Prognose 2030 MP3 Z OG Küche	0.80	2.54
Nullfall Bestand 2017 MP4 Z OG Kinderzimmer groß	0.78	2.32
Planfall Prognose 2030 MP4 Z OG Kinderzimmer groß	1.04	2.32

*Tabelle 11: Gebäude Lindenstraße 14 Ergebnistabelle
Schwinggeschwindigkeit $v_{\max}$*

Zunächst ist festzustellen, dass die Erschütterungseinwirkungen für den, aus dem Güterzugverkehr im Planfeststellungsabschnitt 1 prognostizierten, bestehenden Museumszugverkehr höher sind, als durch den zukünftig zusätzlich geplanten Personenzugverkehr. Die maximalen gemessenen und prognostizierten Schwingungsamplituden liegen deutlich unterhalb der niedrigsten Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 3 gemäß Tabelle 1 Zeile 3, welche für besonders erschütterungsempfindliche und denkmalgeschützte Gebäude gelten. Aufgrund der deutlichen Unterschreitung der Anhaltswerte ist davon auszugehen, dass infolge der gemessenen und prognostizierten Schienenverkehrserschütterungen keine neuen Schäden an dem Gebäude verursacht werden.

6.3.2 Einwirkungen auf Menschen bei einzelnen Ereignissen

Entsprechend der aktuellen Verwaltungsrechtsprechung werden die maximalen Einwirkungen von Erschütterungen und sekundärem Luftschall auf Menschen in Gebäuden nicht als Beurteilungsgrößen herangezogen. Die Angabe der maxima-

len Einwirkungen auf Menschen bei einzelnen Ereignissen wird nachfolgend beschreibend vorgenommen und die Beurteilungsgrößen werden in Kapitel 6.3.3 angegeben.

Die maximalen Einwirkungen von Erschütterungen und sekundärem Luftschall auf Menschen werden in der nachfolgenden Tabellen angegeben.

2013146 AKN Kiel Schönberger Strand Lindenstraße 14 ohne Stoßstelle, Personenzug 80 km/h				
			sekundärer Luftschall	
Prognose	KB _{Fmax,Beton,m}		L _{Fmax,Beton,m} in dB(A)	
	Personenzug	Museumszug (Güterzug)	Personenzug	Museumszug (Güterzug)
Nullfall Bestand 2017 Fundament	0.08	0.24	23.7	28.8
Planfall Prognose 2030 Fundament	0.10	0.24	25.2	28.8
Nullfall Bestand 2017 MP2 Z EG Wohnzimmer	0.31	0.81	31.5	34.1
Planfall Prognose 2030 MP2 Z EG Wohnzimmer	0.41	0.81	33.0	34.1
Nullfall Bestand 2017 MP3 Z OG Küche	0.25	1.06	32.7	38.1
Planfall Prognose 2030 MP3 Z OG Küche	0.33	1.06	34.2	38.1
Nullfall Bestand 2017 MP4 Z OG Kinderzimmer groß	0.32	0.96	32.7	36.5
Planfall Prognose 2030 MP4 Z OG Kinderzimmer groß	0.43	0.96	34.2	36.5

Tabelle 12: Gebäude Lindenstraße 14 Ergebnistabelle Einzelereignisse, max. Bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} u. Maximalpegel L_{max}

Infolge des bestehenden Museumszugverkehrs werden deutlich höhere Werte der maximalen Bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} prognostiziert, als durch den zukünftig zusätzlich geplanten Personenzugverkehr. Demnach erhöhen sich die Werte der maximalen Bewerteten Schwingstärke durch den geplanten Personenzugverkehr nicht.

Für den sekundären Luftschall ergeben sich ebenfalls für den Museumszugverkehr höhere Pegel als für den geplanten Personenzugverkehr.

Im Vergleich der Prognose für die Lindenstraße 14 mit Stoßstelle und 60 km/h ergeben sich hier ohne Stoßstelle und 80 km/h für den Personenzug deutlich geringere Erschütterungen und geringere sekundäre Luftschallpegel.

6.3.3 Beurteilungsgrößen für die Einwirkung auf Menschen

Die Beurteilungsgrößen für die Einwirkung von Erschütterungen und sekundärem Luftschall beziehen sich auf die tags bzw. nachts gemittelte Einwirkung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} und den Mittelungspegel L_m .

Eine Einhaltung der Beurteilungskriterien liegt bei einer Einhaltung der Anhaltswerte A_r der DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 durch die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} bzw. der aus der 16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV abgeleiteten Immissionsrichtwerte durch den Mittelungspegel L_m vor.

Bei dem Ausbau von Bahnstrecken liegt darüber hinaus unabhängig von der Vorbelastung eine Einhaltung der Beurteilungskriterien vor, sofern die zwischen Nullfall (Bestand 2017) und Planfall (Prognose 2030) eine Erhöhung von weniger als 25 % für die Beurteilungs-Schwingstärke bzw. von weniger als 3 dB für den Mittelungspegel zu erwarten ist, da diese Erhöhungen nicht durch den Menschen differenzierbar und daher nicht maßgeblich sind.

2013146 AKN Kiel Schönberger Strand Lindenstraße 14 ohne Stoßstelle, Personenzug 80 km/h				
	Erschütterungen		sekundärer Luftschall	
Anforderungen	DIN 4150 T2 Tab. 1, Zeile 3		16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV	
	A_r		L_m in dB(A)	
	tags	nachts	Wohnräume tags	Schlafräume nachts
	0.10	0.07	40	30
Prognose	$KB_{FT,r,Beton}$		$L_{m,Beton}$ in dB(A)	
	tags	nachts	tags	nachts
Nullfall Bestand 2017 Fundament	0.008	0.000	4.4	-0.1
Planfall Prognose 2030 Fundament	0.016	0.011	8.0	5.4
Änderung	98%	-	3.6 dB	5.5 dB
Nullfall Bestand 2017 MP2 Z EG Wohnzimmer	0.039	0.020	11.6	7.7
Planfall Prognose 2030 MP2 Z EG Wohnzimmer	0.059	0.042	15.6	13.2
Änderung	54%	111%	4.0 dB	5.5 dB
Nullfall Bestand 2017 MP3 Z OG Küche	0.041	0.016	13.5	8.9
Planfall Prognose 2030 MP3 Z OG Küche	0.055	0.034	17.0	14.3
Änderung	34%	111%	3.6 dB	5.5 dB
Nullfall Bestand 2017 MP4 Z OG Kinderzimmer groß	0.042	0.021	13.1	8.9
Planfall Prognose 2030 MP4 Z OG Kinderzimmer groß	0.063	0.043	16.9	14.4
Änderung	48%	111%	3.8 dB	5.5 dB

Tabelle 13: Gebäude Lindenstraße 14 Ergebnistabelle Beurteilungsgrößen, Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{FT,r}$ u. Mittelungspegel L_m

Für die Erschütterungen ergibt sich mit einer Beurteilungs-Schwingstärke von bis zu $KB_{FT,r} = 0.063$ tags und 0.043 nachts eine Einhaltung der Anhaltswerte $A_r = 0.1$ tags und 0.07 nachts, so dass unabhängig von der Erhöhung der Immissionen eine Einhaltung der Beurteilungskriterien festgestellt werden kann.

Für den sekundären Luftschall ergibt sich mit Mittelungspegeln von bis zu $L_m = 17$ dB(A) tags und 14 dB(A) nachts eine deutliche Einhaltung der Immissionsrichtwerten IRW 40 dB(A) tags und 30 dB(A) nachts, so dass unabhängig von

der Erhöhung der Immissionen eine Einhaltung der Beurteilungskriterien festgestellt werden kann.

Aufgrund der deutlichen Einhaltung der Anhaltswerte bzw. Immissionsrichtwerte kann eine Einhaltung der Beurteilungskriterien festgestellt werden.

Im Vergleich der Prognose für die Lindenstraße 14 mit Stoßstelle und 60 km/h ergeben sich hier ohne Stoßstelle und 80 km/h für den Personenzug deutlich geringere Erschütterungen und geringere sekundäre Luftschallpegel.

7 Zusammenfassende Bewertung

Im Rahmen der Planungen zur Reaktivierung des Regionalbahnverkehrs als öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV) auf der bestehenden Bahnstrecke Kiel - Schönberger Strand im Planfeststellungsabschnitt 2 Stadtgrenze Kiel – Schönberger Strand 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 gezielten Personenzugvorbeifahrten mit einem diesel-hydraulischen Triebwagen vorgenommen und für eine Ermittlung der derzeitigen Immissionen und für eine Prognosen der zukünftigen Immissionen verwendet. Für den derzeit verkehrenden Museumszug wurden Güterzugvorbeifahrten aus Schwingungsmessungen für den Planfeststellungsabschnitt 1 verwendet. Die Zugverkehrshäufigkeit wurde für den Nullfall mit dem Bestand 2017 sowie für den Planfall mit dem Prognosehorizont für das Jahr 2030 angesetzt.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen eine deutliche Einhaltung der Anforderungen für die Erschütterungen, der Anhaltswerte A_r gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 durch die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{FT,r}$ und für den sekundären Luftschall, der aus 16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV abgeleiteten Immissi-

onsrichtwerte IRW durch den Mittelungspegel L_m , für die Beurteilungszeiten tags 06:00-22:00 Uhr und nachts 22:00-06:00 Uhr.

Infolge des auf dem Streckenabschnitt bestehenden Museumszugverkehrs werden bei der einzelnen Zugvorbeifahrt höhere Erschütterungen (maximale Schwinggeschwindigkeit v_{max} und maximale Bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax}) verursacht, als durch den zukünftig zusätzlich geplanten Personenzugverkehr.

Im Hinblick auf die Einwirkung auf bauliche Anlagen liegen die maximalen gemessenen und prognostizierten Schwingungsamplituden deutlich unterhalb der niedrigsten Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 3 gemäß Tabelle 1 Zeile 3, welche für besonders erschütterungsempfindliche und denkmalgeschützte Gebäude gelten. Bei Einhaltung der Anhaltswerte ist davon auszugehen, dass infolge der gemessenen und prognostizierten Schienenverkehrserschütterungen keine neuen Schäden an dem Gebäude verursacht werden.

Aufgrund der prognostizierten Einhaltung der Anhaltswerte A_r gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 für die Erschütterungen und der aus der 16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV abgeleiteten Immissionsrichtwerte ist für die untersuchten Messobjekte eine Einhaltung der gemäß aktueller Verwaltungsrechtsprechung geltenden Beurteilungskriterien festzustellen.

Aufgrund der Lage der Messobjekte mit einem geringen Abstand zu Bahnstrecke und unterschiedlichen Gebäudeeigenschaften sind die Ergebnisse der Untersuchungen grundsätzlich auch auf andere Wohngebäude entlang der Strecke übertragbar.