



Schwingungstechnik und
Erschütterungen im
Bauwesen

baudyn.de

Messung
Berechnung
Beratung
Gutachten

Gutachten

Projekt 2015320
Inhalt AKN-Strecke A1 / S21 Eidelstedt-Landesgrenze FHH/SH
Elektrifizierung / Zweigleisiger Ausbau
Dokument 2016-02-11-2015320-N1-8-GA
10 Gutachten Schwingungen / Erschütterung PFA 1
10.1 Bericht Erschütterungen
Auftraggeber Sellhorn Ingenieurgesellschaft mbH
Teilfeld 5
20459 Hamburg
Für AKN Eisenbahn AG
Rudolf-Diesel-Straße 2
24568 Kaltenkirchen
Anmerkung Eine auszugsweise Zitierung ist mit uns abzustimmen
Das Gutachten umfasst 37 Seiten
Datum 11.02.2016
baudyn GmbH

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

baudyn GmbH
Baudynamik &
Strukturmonitoring

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

www.baudyn.de

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

Sitz der Gesellschaft
Hamburg HRB 110933

Inhaltsverzeichnis

1 Vorhaben und Veranlassung.....	3
2 Planungsunterlagen.....	5
3 Regelwerke.....	5
3.1 Einwirkungen aus Erschütterungen.....	5
3.1.1 Menschen in Gebäuden.....	7
3.1.2 Bauliche Anlagen.....	10
3.1.3 Technische Anlagen.....	15
3.2 Einwirkungen aus sekundärem Luftschall.....	16
4 Messtechnische Untersuchungen.....	17
4.1 Untersuchungsgebiet.....	17
4.2 Messobjekte.....	18
4.3 Schwingungsmessungen.....	19
4.4 Auswertung und Dokumentation.....	20
5 Prognose.....	20
5.1 Vorgehensweise.....	20
5.2 Eingangsdaten.....	22
5.2.1 Emissionsspektren.....	22
5.2.2 Transmission im Boden.....	25
5.2.3 Transmission Gelände-Stockwerksdecke.....	26
5.3 Durchführung der Prognose.....	26
6 Ergebnisse.....	28
6.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden.....	28
6.1.1 Richtbornweg 19d.....	29
6.1.2 Möhlenort 30.....	31
6.2 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen.....	34
7 Zusammenfassende Bewertung.....	35

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 Zweistromfahrzeuge verkehren.

Trägerin des Vorhabens ist die AKN Eisenbahn AG (AKN) im Auftrag der Bundesländer Hamburg und Schleswig-Holstein. Im Unterauftrag der Sellhorn Ingenieurgesellschaft mbH wurde die baudyn GmbH mit den erschütterungstechnischen Untersuchungen beauftragt. Die Ergebnisse der erschütterungstechnischen Untersuchungen werden als Anlage 10 Gutachten Schwingungen / Erschütterung, 10.1 Bericht Erschütterungen Bestandteil der Antragsunterlagen erstellt.

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

Die Gesamtmaßnahme wird in zwei Bereiche unterteilt:

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

In diesem Gutachten wird der Planfeststellungsabschnitt 1 – PFA 1 betrachtet.

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

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

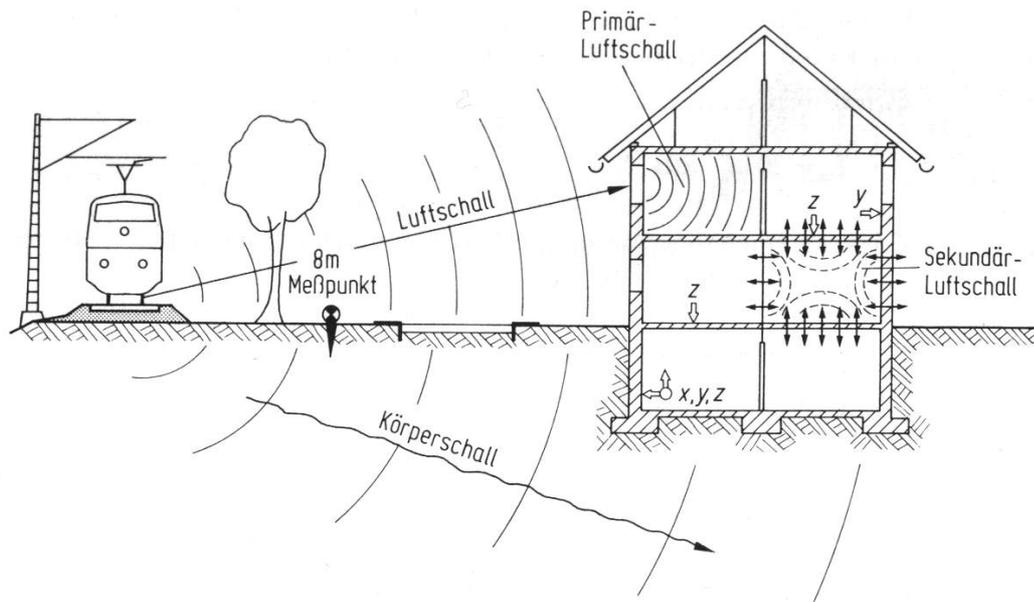


Abbildung 1: Erschütterungsübertragung Bahnstrecke – Gebäude (Taschenbuch der Technischen Akustik)

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

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

2 Planungsunterlagen

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

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

3 Regelwerke

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

3.1 Einwirkungen aus Erschütterungen

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

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

einzelnen in der Erschütterungstechnischen Untersuchung verwiesenen Regelwerke.

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

In der vorliegenden Untersuchung ist die DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“¹ zu Grunde gelegt worden, da die Norm den aktuellen Stand der Technik darstellt und Ausgangspunkt für die Ausarbeitung der „Erschütterungs-Leitlinie“ war. Darüber hinaus sind in der DIN 4150 zusätzlich Angaben zur Vorermittlung von Schwingungsgrößen und quellenspezifische Regelungen für Schienenverkehrserschütterungen enthalten und zur Beurteilung von Schienenverkehrserschütterungen gültig.

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

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

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

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

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

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

3.1.1 Menschen in Gebäuden

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

In der DIN 4150 Teil 2 wird eine maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F_{max}}$ als Maximalwertkriterium und eine Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ als Mittelwertkriterium verwendet.

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

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

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

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

DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“ Tabelle 1 (Ausgabe Juni 1999)							
Zeile	Einwirkungsort	Tags			Nachts		
		A _u	A _o	A _r	A _u	A _o	A _r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete BauNVO, § 9)	0.4	6	0.2	0.3	0.6	0.15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete BauNVO, § 8)	0.3	6	0.15	0.2	0.4	0.1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete BauNVO, § 7, Mischgebiete BauNVO, § 6, Dorfgebiete BauNVO, § 5)	0.2	5	0.1	0.15	0.3	0.07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Wohngebiet BauNVO, § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, § 2)	0.15	3	0.07	0.1	0.2	0.05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen	0.1	3	0.05	0.1	0.15	0.05

In Klammern sind jeweils die Gebiete der Baunutzungsverordnung BauNVO angegeben, die in der Regel den Kennzeichnungen unter Zeile 1 bis 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter Zeile 1 bis 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkungen vorgenommen ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.

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

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

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

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

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

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

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

3.1.2 Bauliche Anlagen

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

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

Im Weiteren wird die Vorgehensweise gemäß der DIN 4150 beschrieben.

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

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

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

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

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

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

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

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

„Erschütterungen, die geeignet wären, strukturelle Schäden hervorzurufen, sind nicht planmäßig Gegenstand einer Richtlinie zur Gebrauchstauglichkeit. Die Begrenzung oder Vermeidung leichter Gebäudeschäden, sogenannter Schönheitsschäden, gehört jedoch zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit.

Dabei tritt häufig die – für juristische Auseinandersetzungen wichtige – Frage der Ursächlichkeit auf. Werden die Anhaltswerte der einschlägigen Normen und Richtlinien (z. B. DIN 4150-3) unterschritten, so ist nach bisheriger Erfahrung davon auszugehen, dass solche Erschütterungen nicht schadensursächlich sein können. Selbst wenn die Anhaltswerte überschritten werden, muss keine Schadensursächlichkeit vorliegen; es bedarf hierzu jedoch genauerer Untersuchungen. Vielfach werden aber Schäden beklagt, obwohl die einschlägigen Anhaltswerte bei weitem nicht erreicht wurden. Sieht man einmal davon ab, dass es sich dabei auch um Schäden handeln kann, die bereits vorhanden, aber bisher der Aufmerksamkeit entgangen waren, könnten hier die Erschütterungen den Schaden (den Riss) auslösen, aber nicht verursacht haben. Ein versteckter Mangel im Bauwerk – z.B. in Form von Zwängungsspannungen, die bereits die Zugfestigkeit des Materials erreicht haben – kann durch den marginalen Beanspruchungszuwachs aus Erschütterungen sichtbar gemacht werden: Der Riss, der später ohnehin aufgetreten wäre, entsteht durch die Erschütterungseinwirkung jetzt früher. Seine Form ist in der Regel nicht typisch für Erschütterungen, sondern zeigt die eigentliche Ursache. Auch jedes andere Zusatz-Ereignis hätte den Schaden auslösen können.

Natürlich können bei vorhandenen Schäden zusätzliche Erschütterungen auch unterhalb der Anhaltswerte zum Schadensfortschritt beitragen. Aber auch hier liegt die Ursache im Mangel des Bauwerks.“

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

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

Bei Schienenverkehrserschütterungen wie im vorliegenden Fall mit Personenzügen handelt es sich um kurzzeitige Erschütterungseinwirkungen.

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

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

^{*)} Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden.

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

In der DIN 4150 Teil 3 werden Anhaltswerte für die maximale Schwinggeschwindigkeit bei Einwirkung kurzzeitiger Erschütterungen für die größte Komponente am Fundament (Tabelle 1), für die Horizontalbewegung in der obersten Deckenebene (Tabelle 1) und die vertikalen Deckenschwingungen in Feldmitte (Abschnitt 5.2) genannt.

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

Unter der Voraussetzung, dass die zum Baubetrieb benachbarten, vorhandenen Leitungen nach dem heutigen Stand der Technik hergestellt und verlegt wurden, sowie darüber hinaus keine bodenmechanischen Vorgänge zu erwarten sind und bei Hausanschlussleitungen ein Abstand von mindestens 2 m zum Haus vorliegt gelten die Anhaltswerte der nachfolgenden Tabelle.

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

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

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

3.1.3 Technische Anlagen

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

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

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

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

3.2 Einwirkungen aus sekundärem Luftschall

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

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

Wegen der mit höheren Frequenzen zunehmenden Hörfähigkeit des Menschen sind als Anregung im wesentlichen Maschinenschwingungen und Schienenverkehrserschütterungen mit Frequenzen ab der 50 Hz-Terz und höher, selten bei Baubetrieb, maßgeblich. Der sekundäre Luftschall wird also erst am Immissionsort emittiert, während der primäre Luftschall am Emissionsort, z.B. Schienenfahrzeug auf der Bahnstrecke, emittiert wird und dann über den Ausbreitungsweg über die Luft zum Immissionsort übertragen wird. Die Immissionen aus primärem Luftschall, welcher unmittelbar am Schienenfahrzeug und Fahrweg verursacht werden, sind nicht Gegenstand dieser Untersuchungen und gesondert durch einen Fachgutachter Akustik und Schall in schalltechnischen Untersuchungen zu betrachten.

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

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

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

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

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

4 Messtechnische Untersuchungen

4.1 Untersuchungsgebiet

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

In diesem Gutachten wird der Abschnitt in Hamburg zwischen der Ausfädelung aus dem bestehenden S-Bahn-Gleis nördlich des Haltepunktes Eidelstedt und dem Übergang auf die bestehende zweigleisige Bahnstrecke betrachtet.

In diesem Abschnitt befinden sich die Wohngebäude in der Lampéstraße 17 a-f, 19 a-f, 21 a-k und 23, Möhlenort 30, Weidplan 76-82, Richtbornweg 23 a-d, 21 a-d, 19 a-d, 17 a-d. Aus diesen Gebäuden wurden repräsentativ maßgebliche Wohngebäude für eine konkrete Betrachtung festgelegt. Für die maßgeblichen Gebäude Lampéstraße 21g und 23 ist zusätzlich zu dem vorhandenen Gleis der AKN in 33 m ein zusätzliches Gleis in einem Abstand von 23 m zu berücksichtigen. Für die maßgeblichen Gebäude im Möhlenort 30 und im Richtbornweg 19d ist zusätzlich zu dem in 23 m bzw. 12 m vorhandenen Gleis der AKN ein zusätzliches, zweites Gleis in einem Abstand von 30 m bzw. 16 m zu berücksichtigen.

In den Wohngebäuden Möhlenort 30 und im Richtbornweg 19d konnten Schwingungsmessungen durchgeführt werden. In den Wohngebäuden Lampéstraße 21g und 23 wurden die Eigentümer über die AKN durch das Liegenschaftsamt ermittelt. Die Schreiben an den Eigentümer des Wohngebäudes Lampéstraße 21g konnte nicht zugestellt werden und eine telefonische Kontaktaufnahme war aufgrund eines nicht mehr angemeldeten Telefons nicht möglich. Die Kontaktaufnahme zu dem Eigentümer des Wohngebäudes Lampéstraße 23 per Papierpost und E-Mail war ohne Rückmeldung und eine Telefonnummer konnte nicht ermittelt werden.

4.2 Messobjekte

In den Wohngebäuden Möhlenort 30 und Richtbornweg 19d konnten Schwingungsmessungen durchgeführt werden.

Bei dem Messobjekt Richtbornweg 19d handelt es sich um ein zweigeschossiges Endreihenhaus aus Mauerwerk mit einem Kellergeschoss, einem Erdgeschoss, einem Obergeschoss sowie einem unausgebauten Dachgeschoss. Die Stockwerksdecken sind aus Stahlbeton hergestellt. Der Abstand zur Gleisachse der bestehenden eingleisigen Bahnstrecke beträgt 12 m und die Bahnstrecke weist dort derzeit eine

Weiche auf, die auf ein weiteres Gleis in Richtung Kaltenkirchen führt. Das geplante zweite Gleis ist in einem Abstand der Gleisachse von 16 m zum Gebäude vorgesehen.

Bei dem Messobjekt Möhlenort 30/30a/30b handelt es sich um ein eingeschossiges, nicht unterkellertes Reihenhaus, wobei das Dach lediglich im Möhlenort 30 ausgebaut ist. Das Reihenhaus Möhlenort 30 weist den geringsten Abstand zum bestehenden Gleis der AKN von 23 m auf und dort konnte der Fundamentmesspunkt eingerichtet werden. Das geplante zweite Gleis ist in einem Abstand der Gleisachse von 30 m zum Messobjekt vorgesehen. Die Schwingungsmessungen innerhalb eines Wohngebäudes konnten im mittleren Reihenhaus Möhlenort 30a in dem Erdgeschoss auf einer geschütteten Sohle erfolgen. Das Messobjekt Möhlenort 30 befindet sich darüber hinaus im Einflussbereich der S- und Fernbahnstrecke zwischen Hamburg und Pinneberg, welche sich mit den nächstgelegenen S-Bahngleisen etwa 20 m entfernt vom Möhlenort 30b befindet.

4.3 Schwingungsmessungen

Die Schwingungsmessungen wurden am 16.09.2015 in Richtbornweg 19d und am 12.10.2015 im Möhlenort 30 durchgeführt.

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 der AKN sowie im Messobjekt Möhlenort 30 zusätzlich mit Schienenverkehr auf der S- und Fernbahnstrecke Hamburg-Pinneberg 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 $\tau = 0.125$ s (engl. „fast“) ermittelt.

5 Prognose

5.1 Vorgehensweise

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

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

Die Vorgehensweise beruht auf einem empirischen Prognosemodell, welches aus den Elementen der Erschütterungs-Emission an einem Messpunkt im Gelände in 8 m von der Gleisachse, der Erschütterungs-Transmission im Boden und der Übertragung vom Boden in das Gebäude auf die Erschütterungs-Immission auf

der Stockwerksdecke besteht. In Abhängigkeit von der Fragestellung und den örtlichen Randbedingungen wird die Übertragung vom Boden in das Gebäude direkt auf die Stockwerksdecke oder zunächst auf das Fundament – Gebäudesohle oder aufgehende Kellerwand – und von dort auf die Stockwerksdecke beschrieben.

Die dynamischen Eigenschaften der einzelnen Elemente Emission, Transmission und die Übertragung in das Gebäude bis zur Immission werden entweder im Rahmen der konkreten Untersuchungen durch Schwingungsmessungen vor Ort messtechnisch ermittelt oder als empirische Angaben aus Richtlinien bzw. Veröffentlichungen 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 $KB_{FT,r}$, 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 zur Prognose des sekundären Luftschall aus dem Schienenverkehr verwendeten empirischen Beziehung zwischen Schwingungen und abgestrahltem sekundären Luftschall hingewiesen.

In der VDI-Richtlinie 2038 wird die Prognoseunsicherheit für die Anregung aus Schienenverkehr ohne Messungen am Immissionsort als hoch bis sehr hoch bzw. zwischen 6 dB bis über 10 dB, die Systembeschreibung für die Ankopplung der

Gebäudefundamente über den Boden als gering bis sehr hoch bzw. weniger 3 dB bis über 10 dB sowie die Systembeschreibung für die Schwingungsübertragung innerhalb der Gebäudestruktur als mittel bis sehr hoch bzw. 3 dB bis über 10 dB bewertet. Eine Eingrenzung der Prognoseunsicherheit ist durch Schwingungsmessungen möglich.

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

5.2 Eingangsdaten

5.2.1 Emissionsspektren

Als Eingangsgröße für die Prognosen werden im Boden auf Erdspießen 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 vor. Für das Messobjekt Möhlenort 30 liegen darüber hinaus Terzschnellepegel der neuen diesel-mechanischen Triebwagen Lint54 vor.

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

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

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

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

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

¹ Entwurf DB Richtlinie 800.2501 Erschütterungen und sekundärer Luftschall

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

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

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

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

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

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

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

angegeben.

¹ Schwinggeschwindigkeitsamplitude in logarithmischer Pegeldarstellung

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 niedrigerer Fahrgeschwindigkeit gemessenen Emissionsspektren an die höhere zulässige Fahrgeschwindigkeit anzupassen.

5.2.2 Transmission im Boden

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

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

A_0 Ausgangsamplitude im Abstand r_0

A zu ermittelnde Amplitude im Abstand r

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

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

D Dämpfungsgrad in Lockergestein $D=0.01$

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

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

f Frequenz in Hz, angesetzt in Terzen

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

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.

5.2.3 Transmission Gelände-Stockwerksdecke

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

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

5.3 Durchführung der Prognose

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

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

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

Während der Schwingungsmessungen im Messobjekt Richtbornweg 19d haben keine Vorbeifahrten mit dem Triebwagen Lint54 stattgefunden. Daher wurden die Unterschiede zwischen den Emissionsspektren VTA und Lint54 aus den Schwingungsmessungen Möhlenort 30 ermittelt und auf die Emissionsspektren VTA aus dem Richtbornweg 19d in Form von Terzdifferenzpegeln angewendet, um für den Richtbornweg ersatzweise Emissionsspektren für den Triebwagen Lint54 zu erhalten.

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

Die Zugverkehrshäufigkeiten sind in der nachfolgenden Tabelle angegeben:

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

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

Für die Erschütterungsimmissionen ist gemäß DIN 4150 Teil 2 eine Betrachtung in 30 s-Takten erforderlich. Ausgehend von der Zuglänge und der Fahrgeschwin-

digkeit liegt eine Einwirkdauer vor, die kürzer ist als 30 s und somit in jedem Fall nur ein 30 s-Takt je Zugvorbeifahrt anzusetzen ist.

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

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

6 Ergebnisse

6.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

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

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

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

Zur Beurteilung ist im Planfall für die Erschütterungsimmissionen für die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ tags (6-22 Uhr) und nachts (22-6 Uhr) eine 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 wurden Tabellen mit einer Angabe der Veränderung aufgestellt und in den nachstehenden Abschnitten für jedes Messobjekt dargestellt.

6.1.1 Richtbornweg 19d

In diesem Abschnitt sind für das Messobjekt Richtbornweg 19d die Prognoseergebnisse ausgehend von dem Prognose-Nullfall mit den zwei Prognose-Planfällen verglichen worden.

Die Ergebnisse zeigen für den Prognose-Nullfall und den Prognose-Planfall mit den Lint54-Emissionen auf allen Messpunkten eine deutliche Überschreitung der Anforderungen für die Erschütterungen der Anhaltswerte A_r gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 4 für tags und nachts.

Für den sekundären Luftschall ist für die aus der 16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV abgeleiteten Anforderungen in allen Situationen eine deutliche Einhaltung der Immissionsrichtwerte tags und eine knappe Einhaltung der Immissionsrichtwerte nachts festzustellen.

Aufgrund der Überschreitung der Anforderungen für die Erschütterungen für einen Teil der untersuchten Situationen ist eine Betrachtung der Veränderung der Immissionen infolge der Umsetzung des Vorhabens vorzunehmen.

In Abhängigkeit von den verwendeten Zug-Emissionen ergeben sich alleine durch die Änderungen an der Bahnstrecke im Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54 Verminderungen um bis zu 10 % bei den Erschütterungen und um bis zu 0.7 dB beim sekundären Luftschall. Für die Prognose mit den S-Bahn-Emissionen

ergeben sich deutliche Verminderungen auf bis zu $KB_{FTF} \equiv 0^1$ bei den Erschütterungen und um bis zu 14.6 dB beim sekundären Luftschall.

Die hohen Immissionen für den Prognose-Nullfall und den Prognose-Planfall mit auf den Schwingungsmessungen im Messobjekt Richtbornweg 19d beruhenden Lint54-Emissionen sind auf die Erschütterungsanregung durch das Überfahren der bestehenden Weiche zurückzuführen. Für den Prognose-Planfall mit den S-Bahn-Emissionen sind aufgrund der bei den dortigen Schwingungsmessungen nicht vorhandenen Weiche deutlich geringere Immissionen zu erwarten. Die Planung des Vorhabens sieht aufgrund der Zweigleisigkeit in diesem Streckenabschnitt keine Weiche vor, so dass die derzeit vorhandene Weiche entfällt.

Der Vergleich der Veränderung der Immissionen infolge der Umsetzung des Vorhabens zeigt, dass aufgrund der Verteilung des Schienenverkehrs auf das bestehende Gleis und das in einem größeren Abstand zum Gebäude geplante Gleis sowie das Entfallen der Weiche zukünftige geringere Immissionen zu erwarten sind.

Messobjekt 02 Richtbornweg Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTF}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP2 kleines Zimmer	Nullfall	0,470	0,313	33,4	29,7	29,9	26,2
	Planfall	0,425	0,284	32,7	29,2	29,3	25,7
	Δ	-10%	-9%	-0,7	-0,5	-0,6	-0,5
MP3 EG Wohnzimmer	Nullfall	0,174	0,116	30,4	27,4	26,9	23,9
	Planfall	0,164	0,110	29,9	26,9	26,4	23,4
	Δ	-6%	-5%	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
MP4 OG Schlafzimmer	Nullfall	0,202	0,135	26,9	24,7	23,4	21,1
	Planfall	0,187	0,125	26,4	24,2	22,9	20,7
	Δ	-7%	-7%	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4

¹ Die in die Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTF} eingehenden KB_{Fmax} -Werte sind sämtlich < 0.1.

Tabelle 5: Messobjekt 02 Richtbornweg Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54

Messobjekt 02 Richtbornweg Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTR}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP2 kleines Zimmer	Nullfall	0,470	0,313	33,4	29,7	29,9	26,2
	Planfall	0,000	0,000	18,8	18,5	15,3	15,0
	Δ	-100%	-100%	-14,6	-11,2	-14,6	-11,2
MP3 EG Wohnzimmer	Nullfall	0,174	0,116	30,4	27,4	26,9	23,9
	Planfall	0,000	0,000	18,2	18,0	14,7	14,5
	Δ	-100%	-100%	-12,2	-9,4	-12,2	-9,4
MP4 OG Schlafzimmer	Nullfall	0,202	0,135	26,9	24,7	23,4	21,1
	Planfall	0,019	0,013	14,1	14,8	10,6	11,3
	Δ	-91%	-91%	-12,8	-9,9	-12,8	-9,8

Tabelle 6: Messobjekt 02 Richtbornweg Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn

6.1.2 Mühlenort 30

In diesem Abschnitt sind für das Messobjekt Mühlenort 30 die Prognoseergebnisse ausgehend von dem Prognose-Nullfall mit den zwei Prognose-Planfällen verglichen worden.

Die Ergebnisse zeigen für alle Prognose-Planfälle und Messpunkte eine Einhaltung der Anforderungen für die Erschütterungen der Anhaltswerte A_r gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 4 für tags und nachts sowie für den sekundären Luftschall der aus der 16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV abgeleiteten Immissionsrichtwerte.

Die Prognoseergebnisse lassen eine Einhaltung der Anforderungen erwarten, so dass eine Betrachtung der Veränderung der Immissionen infolge der Umsetzung des Vorhabens eigentlich nicht erforderlich ist.

In Abhängigkeit von den verwendeten Zug-Emissionen ergeben sich alleine durch die Änderungen an der Bahnstrecke im Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54 Verminderungen um bis zu 22 % bei den Erschütterungen und um bis zu 3.0 dB beim sekundären Luftschall. Mit den S-Bahn-Emissionen ergeben sich deutliche Verminderungen auf $KB_{FTT} \equiv 0^1$ bei den Erschütterungen und um bis zu 7 dB beim sekundären Luftschall.

Abschließend wird darauf hingewiesen, dass für das Messobjekt Möhlenort 30 zusätzlich zur AKN-Bahnstrecke eine Vorbelastung aus der Bahnstrecke Hamburg-Pinneberg mit S- und Fernbahnverkehr vorliegt. Unter Berücksichtigung dieser Vorbelastung wäre die Verminderung der Immissionen zwischen den einzelnen Situationen anteilig deutlich geringer, es würde sich allerdings keine abweichende Gesamtbeurteilung des Einflusses aus dem Vorhaben ergeben.

Der Vergleich der Veränderung der Immissionen infolge der Umsetzung des Vorhabens zeigt, dass aufgrund der Verteilung des Schienenverkehrs auf das bestehende Gleis und das in einem größeren Abstand zum Gebäude geplante Gleis zukünftige geringere Immissionen zu erwarten sind.

¹ Die in die Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTT} eingehenden KB_{Fmax} -Werte sind sämtlich < 0.1 .

Messobjekt 05 Möhlenort Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTR}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP2 Z Arbeitszimmer	Nullfall	0,067	0,045	24,4	22,7	20,9	19,2
	Planfall	0,053	0,035	21,4	20,0	17,9	16,5
	Δ	-21%	-22%	-3,0	-2,7	-3,0	-2,7
MP3 Z Küche	Nullfall	0,033	0,022	17,6	17,3	14,0	13,8
	Planfall	0,028	0,019	17,0	16,9	13,5	13,4
	Δ	-15%	-14%	-0,6	-0,4	-0,5	-0,4
MP4 Z Wohnzimmer	Nullfall	0,060	0,040	19,3	18,7	15,7	15,1
	Planfall	0,050	0,034	17,8	17,4	14,3	14,0
	Δ	-17%	-15%	-1,5	-1,3	-1,4	-0,7

Tabelle 7: Messobjekt 05 Möhlenort Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54

Messobjekt 05 Möhlenort Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTR}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP2 Z Arbeitszimmer	Nullfall	0,067	0,045	24,4	22,7	20,9	19,2
	Planfall	0,000	0,000	18,2	18,0	14,7	14,5
	Δ	-100%	-100%	-6,2	-4,7	-6,2	-4,7
MP3 Z Küche	Nullfall	0,033	0,022	17,6	17,3	14,0	13,8
	Planfall	0,000	0,000	11,1	12,4	7,6	9,0
	Δ	-100%	-100%	-6,5	-4,9	-6,4	-4,8
MP4 Z Wohnzimmer	Nullfall	0,060	0,040	19,3	18,7	15,7	15,1
	Planfall	0,000	0,000	12,3	13,4	8,8	9,9
	Δ	-100%	-100%	-7,0	-5,3	-6,9	-0,7

Tabelle 8: Messobjekt 05 Möhlenort Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn

6.2 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen

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

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

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

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

Im vorliegenden Fall wurde in den Messobjekten am Fundament im Möhlenort 30 eine maximale Schwinggeschwindigkeit von 0.38 mm/s und im Richtbornweg 19d von 1.4 mm/s gegenüber einem geringsten Anhaltswert gemäß DIN 4150 Teil 3 Tabelle 1 Zeile 3 für besonders erschütterungsempfindliche Gebäude für den Fundamentmesspunkt von 3 mm/s ermittelt.

Für die Stockwerksdecken wurden im Möhlenort 30 eine maximale Schwinggeschwindigkeit von 0.56 mm/s (0.63 mm/s bei Schienenverkehr auf der Strecke Hamburg-Pinneberg) und im Richtbornweg 19d von 3.6 mm/s gegenüber einem Anhaltswert gemäß DIN 4150 Teil 3 Abschnitt 5.2 für Wohngebäude von 20 mm/s ermittelt.

Aufgrund der deutlichen Unterschreitung der Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 3 Tabelle 1 bei den derzeit auftretendem Schienenverkehr und keiner zu erwartenden Erhöhung der Erschütterungen aus dem zukünftigen Schienenverkehr sind keine neuen Schäden an den Gebäuden infolge von Schienenverkehrserschütterungen zu erwarten.

7 Zusammenfassende Bewertung

Im Rahmen der Planungen zur Elektrifizierung und des in Abschnitten zweigleisigen Ausbaus der bestehenden Bahnstrecke AKN A1 zwischen Hamburg Eidelstedt – Kaltenkirchen im Planfeststellungsabschnitt 1 PFA1 Eidelstedt – Landesgrenze Hamburg/Schleswig-Holstein wurden erschütterungstechnische Untersuchungen zur Ermittlung der Immissionen von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden und bauliche Anlagen sowie die Einwirkung von sekundärem Luftschall auf Menschen in Gebäuden vorgenommen.

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

Die aus den Schwingungsmessungen ermittelten Emissionen sowie die, für die Messobjekte ermittelten Eigenschaften der Erschütterungsübertragung wurden für eine Prognose der Immissionen für die plangegebene Situation im Jahr 2025 (Prognose-Nullfall) ohne die Umsetzung des Vorhabens sowie die Umsetzung des Vorhabens (Prognose-Planfall) vorgenommen.

Für die konkret einschließlich Schwingungsmessungen untersuchten Messobjekte Möhlenort 30 und Richtbornweg 19d ist für den Planfall mit der Umsetzung des Vorhabens mit einem zweiten, weiter von den Gebäuden entfernten Gleis und für den Richtbornweg 19d den Wegfall einer Weiche eine Verbesserung der Situation mit geringeren Immissionen zu erwarten.

Im Bereich des zweigleisigen Ausbaus der Bahnstrecke befinden sich in der Lampéstraße auf der zur Bahnstrecke gewandten Seite einige Wohngebäude für die das geplante zweite Gleis sich näher befindet, als das derzeit nächstgelegene Gleis. Die Einbeziehung der Wohngebäude in der Lampéstraße in die Schwingungsmessungen konnte nicht erfolgen. Es waren konkret die Wohngebäude Lampéstraße 21g und Lampéstraße 23 ausgewählt, weil dort gemäß der Planung des Vorhabens die größten Änderungen zu erwarten sind. Aus diesem Grund soll nachfolgend auf die Situation dieser beiden Wohngebäude eingegangen werden.

Im Bestand befindet sich die Gleisachse 33 m von der Lampéstraße 21g und 32.5 m von der Lampéstraße 23. Das zukünftig zweite Gleis der AKN ist einem Abstand von 24 m von der Lampéstraße 21g und 32 m von der Lampéstraße 23 geplant.

Infolge der Abstandsänderung würde sich unter Annahme eines Ausbreitungskoeffizienten gemäß DIN 4150 Teil 1 von $n = -0.3 \dots -0.5$ eine Erhöhung der Erschütterungseinwirkungen um bis zu 17 % für die Lampéstraße 21g bzw. 19 % für die Lampéstraße 23 sowie eine Erhöhung des sekundären Luftschalls um 0.8 dB für die Lampéstraße 21g bzw. 0.9 dB für die Lampéstraße 23 ergeben. Diese Änderungen beziehen sich nur auf die Immissionen durch das neue Gleis.

Unabhängig von der Höhe der Vorbelastung und unter zusätzlicher Berücksichtigung, dass neben dem Zugverkehr auf der AKN-Strecke Zugverkehr auf der S- und Fernbahnstrecke Hamburg-Pinneberg Immissionen verursacht, ist durch die Umsetzung des Vorhabens der AKN für die Wohngebäude in der Lampéstraße keine wesentliche Erhöhung der Immissionen der Erschütterungen von 25 % oder des sekundären Luftschalls um 3 dB zu erwarten.

Im Hinblick auf die Wohnbebauung in der Lampéstraße wird empfohlen, im Bereich des Überwerfungsbauwerks den Einbau einer Unterschottermatte vorzusehen.

Zur Gewährleistung einer Beweissicherung der plangegebenen Immissionen für den Vorhabenträger wird empfohlen, vor der Umsetzung des Vorhabens die

Durchführung von Schwingungsmessungen im Bereich der betroffenen Gebäude in der Lampéstraße auf einem Grundstück im Gelände und im Wohngebäude anzustreben.