



Bonk - Maire - Hoppmann GbR

Geräusche - Erschütterungen - Bauakustik
Beratende Ingenieure

Mess-Stelle nach §§ 26, 28 BImSchG

Dipl.-Ing. Thomas Hoppe
ö.b.v. Sachverständiger für Schallimmissions-
schutz Ingenieurkammer Niedersachsen

Dipl.-Phys. Michael Krause

Dipl.-Geogr. Waldemar Meyer

Dipl.-Ing. Clemens Zollmann
ö.b.v. Sachverständiger für Lärmschutz
Ingenieurkammer Niedersachsen

Dipl.-Ing. Manfred Bonk ^{bis 1995}

Dr.-Ing. Wolf Maire ^{bis 2006}

Dr. rer. nat. Gerke Hoppmann ^{bis 2013}

Rostocker Straße 22
30823 Garbsen
05137/8895-0, -95

Bearbeiter: Dipl.-Phys. M. Krause
Durchwahl: 05137/8895-23
m.krause@bonk-maire-hoppmann.de

31.03.2015

- 14129/e-

Erschütterungstechnische Untersuchung

zum Projekt

Querverbindung Ost

Inhaltsverzeichnis	Seite
Anlagenverzeichnis.....	3
1. Auftraggeber	4
2. Aufgabenstellung dieses Gutachtens.....	4
3. Örtliche Verhältnisse	5
4. Grundlagen	5
5. Betriebstechnische Planungsdaten, weitere Unterlagen	7
6. Messorte	8
7. Mess- und Beurteilungsverfahren	9
7.1 Einwirkung auf den Menschen, DIN 4150, Teil 2	9
7.2 Einwirkung auf die bauliche Substanz der Kirche der „Alt Hastedter Kirchengemeinde“ nach der DIN 4150, Teil 3	12
7.3 Einwirkung auf die Orgel der Kirche der Alt Hastedter Kirchengemeinde, DIN 4150, Teil 3	14
8. Messdurchführung.....	14
8.1 Messpunkte Erschütterung.....	14
8.2 Mess- und Auswertegeräte	16
8.3 Ablauf und Auswertung der Messungen	17
8.4 Ergebnisse der Erschütterungsmessungen.....	17
9. Zusammenstellung der Messergebnisse.....	18
10. Berechnung der zu erwartenden Immissionswerte aus dem Betrieb der Straßenbahn	20
10.1 Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke	22
11. Ergebnisse der Prognoseberechnung Straßenbahn und Beurteilung der zukünftigen Situation	24
Liste der verwendeten Abkürzungen und Ausdrücke	29
Quellen, Richtlinien, Verordnungen	30

Dieses Gutachten umfasst:

30 Seiten Text

Datei:14129_ga_doppelseite2014_asv.doc, Autor: Dipl.-Phys. M. Krause

Anlagenverzeichnis

Anlage	
Anlage 14	Erläuterungsbericht
Anlage 14, Beilage A	Lageplan Messorte Erschütterung
Anlage 14, Beilage ASV_14/E	Emissionsspektren GT8n und GT8N1
Anlage 14, Beilage ASV_14_1/...	Messort ASV_14_1: Bremen, Bennigsenstraße 5
Anlage 14, Beilage ASV_14_1/M	Messort- und Messpunktbeschreibung
Anlage 14, Beilage ASV_14_1/k	Tabellen Berechnung Beurteilungs-Schwingstärke und Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2.
Anlage 14, Beilage ASV_14_1/E	Ergebnistabellen Erschütterungsmessungen
Anlage 14, Beilage ASV_14_1/P	Berechnung Immissionsspektrum Prognose
Anlage 14, Beilage ASV_14_2/...	Messort ASV_14_2: Bremen, Bennigsenstraße 7
Anlage 14, Beilage ASV_14_2/M	Messort- und Messpunktbeschreibung
Anlage 14, Beilage ASV_14_2/k	Tabellen Berechnung Beurteilungs-Schwingstärke und Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2.
Anlage 14, Beilage ASV_14_2/E	Ergebnistabellen Erschütterungsmessungen
Anlage 14, Beilage ASV_14_2/P	Berechnung Immissionsspektrum Prognose
Anlage 14, Beilage ASV_14_3/...	Messort ASV_14_3: Bremen, Kirche „Alt Hastedter Kirchengemeinde“
Anlage 14, Beilage ASV_14_3/M	Messort- und Messpunktbeschreibung
Anlage 14, Beilage ASV_14_3/E	Ergebnistabellen Erschütterungsmessungen
Anlage 14, Beilage ASV_14_3/P	Berechnung Immissionsspektrum Prognose

1. Auftraggeber

**FREIE HANSESTADT BREMEN
BAU UND VERMIETUNG VON NAHVERKEHRSANLAGEN
BETRIEB GEWERBLICHER ART
HERDENTORSTEINWEG 49/50
28195 BREMEN**

2. Aufgabenstellung dieses Gutachtens

Die Stadtgemeinde Bremen plant die Realisierung einer Querverbindung zwischen den Linien 2 und 10 ab dem Knotenpunkt "Bei den drei Pfählen / Bennigsenstraße" über die Bennigsenstraße, Stresemannstraße und Steubenstraße bis zur Linie 1 am Knotenpunkt „Steubenstraße / Julius-Brecht-Allee“. Mit dieser Querverbindung Ost werden die Stadtteile Osterholz und Vahr direkt mit der Östlichen Vorstadt und der Innenstadt verbunden. Das Baurecht soll über ein Planfeststellungsverfahren nach § 28 PBefG erlangt werden.

Nach § 41 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) ist beim Bau oder der wesentlichen Änderung öffentlicher Straßen sowie von Eisenbahnen, Magnetschwebbahnen und Straßenbahnen sicherzustellen, dass durch diese keine schädlichen Umwelteinwirkungen durch Verkehrsgeräusche hervorgerufen werden, die nach dem Stand der Technik mit vertretbarem wirtschaftlichen Aufwand vermeidbar sind. Da neben den Geräuschen auch Immissionen durch Erschütterungen schädliche Umwelteinwirkungen hervorrufen können, ist im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens zu prüfen, welche Auswirkungen durch Erschütterungen aus dem Betrieb der Straßenbahn nach Ausführung der Planung zu erwarten sind.

Zu diesem Zwecke wurden Prognoseberechnungen auf Grundlage der Ergebnisse von Erschütterungsmessungen für zwei Wohngebäude durchgeführt und auf Grundlage der DIN 4150, Teil 2 „Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“ beurteilt.

Üblicherweise wird bei vergleichbaren Vorhaben nur die Einwirkung auf den Menschen betrachtet, da eine schädigende Einwirkung durch Erschütterungen aus dem Straßenbahnverkehr auf Gebäude und Sachgüter i.d.R. ausgeschlossen werden kann. Abweichend davon wurden hier die möglichen Einwirkungen auf die Kirche der „Alt Hastedter Kirchengemeinde“ untersucht, da das Kirchengebäude

von seiner baulichen Ausführung her als besonderes erschütterungsempfindlich eingestuft wird. Grundlage der Beurteilung ist dabei die DIN 4150, Teil 3 „Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkung auf bauliche Anlagen“. Da die in der Kirche vorhandene Orgel in ihrer Funktion möglicherweise ebenfalls durch Erschütterungen aus dem Betrieb der Straßenbahn beeinträchtigt werden könnte, wird dieser werden diese möglichen Einwirkungen ebenfalls untersucht.

Eine Beurteilung der im Rahmen der Baudurchführung ggf. auftretenden Erschütterungsimmissionen ist nicht Gegenstand dieses Gutachtens.

3. Örtliche Verhältnisse

Erläuterungen zu diesem Abschnitt sind der schalltechnischen Untersuchung zu diesem Projekt der Anlage 13.1 (Abschnitt 3 „Örtliche Verhältnisse“) zu entnehmen. Der Untersuchungsbereich erstreckt sich auf die Bebauung in unmittelbarer Nachbarschaft zur geplanten Trassierung, da nur die nächstgelegenen Gebäude durch Erschütterungen aus Straßenbahn und Schwerlastverkehr betroffen sind.

Das geltende Planungsrecht wird ebenfalls aus der Schalltechnischen Untersuchung übernommen.

4. Grundlagen

Bei der Bewegung der Fahrzeuge auf der Gleisanlage werden zeitlich veränderliche Kräfte auf die Fahrweggründung übertragen und in den Boden eingeleitet. Dabei werden im Bereich der Fahrweggründung Schwingungen emittiert, die sich dann im Boden ausbreiten. Die Ausbreitung ist abhängig von der Bodenbeschaffenheit und der Frequenz der Schwingungen und klingt mit zunehmendem Abstand von der Quelle ab.

Die Bodenschwingungen werden auf Gebäude in Fahrwegnähe übertragen (Schwingungsimmissionen) und als Erschütterungen bezeichnet. Das Maß, mit dem die Schwingungen in ein Gebäude übertragen werden, ist stark abhängig von dessen Bauweise.

Unter Körperschall versteht man generell mechanische Schwingungen, die sich in einem festen Medium oder an dessen Oberfläche ausbreiten. Erschütterungen

fallen in die Kategorie tieffrequenter Körperschall, den der Mensch mit seinem ganzen Körper wahrnehmen kann. Der Frequenzbereich der Erschütterungen erstreckt sich von 4 Hz bis etwa 80 Hz.

Als Maß für die Stärke der Schwingungen dient nachfolgend die Schwinggeschwindigkeit (auch als Körperschallschnelle bezeichnet) mit der Einheit [mm/s].

Zur Bewertung von Erschütterungen, insbesondere hinsichtlich ihrer Wirkungen auf den Menschen, werden diese in KB-Schwingstärken ausgedrückt. Dazu wird das Zeitsignal der Schwinggeschwindigkeit bandbegrenzt und eine Frequenzbewertung (KB -Filterung) zur Berücksichtigung der frequenzabhängigen menschlichen Wahrnehmungsstärke durchgeführt. Aus der weiteren Berechnung des gleitenden Effektivwertes mit der Zeitbewertung „FAST“ errechnet sich die bewertete Schwingstärke $KB_{F(t)}$; der maximale Wert über den gesamten Beurteilungszeitraum wird als maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} bezeichnet. Dieser Wert ist die maßgebliche Beurteilungsgrundlage.

Bei der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} handelt es sich um einen zeitlichen Mittelwert analog dem Beurteilungspegel zur Bewertung von Schallimmissionen.

Während für die Berechnung der Schallemission und -ausbreitung ein verallgemeinertes Rechenmodell vorhanden ist, sind die Gesetzmäßigkeiten bei der Entstehung, Ausbreitung und Wirkung der Erschütterungen so vielgestaltig, dass ein verbindliches Berechnungsmodell nicht existiert. Zwar können einerseits Aussagen anhand theoretischer Prognosemodelle getroffen werden, andererseits sind aber Erschütterungsmessungen erforderlich, um bestimmte Zusammenhänge bei der Ausbreitung im Boden und in den Gebäuden genauer zu beschreiben.

Bei der Beurteilung der Geräuschsituation ist grundsätzlich ein Aufpunkt außerhalb eines Gebäudes zu betrachten. Damit haben mit Ausnahme von Reflexions- und Abschirmwirkungen die Gebäude keinen Einfluss auf die Immissionssituation. Bei Betrachtung von Erschütterungen sind stets Immissionsorte innerhalb eines Gebäudes zu betrachten, und zwar sind bei Beurteilung der Wirkung auf Gebäude (Schadensbeurteilung) Beurteilungspunkte im Fundamentbereich oder aufgehenden Mauerwerk sowie im obersten Deckenbereich zu wählen; bei Beurteilung der Einwirkung auf Menschen

(Lästigkeit) Beurteilungspunkte auf den Deckenebenen. Damit wird deutlich, dass die Immissionssituation bei Erschütterungen durch Art und Konstruktion der Gebäude wesentlich mitbestimmt wird. Dabei spielen auch Belastungen (Möblierung, Nutzlasten, Personenlasten) eine wesentliche Rolle. Es ist somit nicht möglich, im Rahmen der hier vorzunehmenden Prognose für alle Situationen wirklichkeitsgetreue Erschütterungswerte zu erhalten.

Im vorliegenden Fall besteht teilweise eine Vorbelastung durch Erschütterungen aus dem Schwerlastverkehr und dem Busverkehr (ÖPNV) auf den jeweiligen Straßen. Im Rahmen einer Messung zur Beweissicherung wird diese bestehende Vorbelastung messtechnisch erfasst. Gleichzeitig wurden die Ausbreitungsbedingungen und die für die Übertragung innerhalb der untersuchten Messorte relevanten Parameter bestimmt.

5. Betriebstechnische Planungsdaten, weitere Unterlagen

Vom Auftraggeber wurden Angaben über Gleisbeschaffenheit, Oberbau, Verkehrsaufkommen (Betriebsprogramm), Fahrzeugparameter und Geschwindigkeitsvorgaben gemacht. Die entsprechenden Daten zum Betriebsprogramm sind dem folgenden Text und den Tabellen zur Berechnung der Beurteilungsschwingstärke in den Anlagen zu entnehmen.

Als weitere Grundlage dienen:

- Lagepläne Trassierungsentwurf, Maßstab 1:500;
- Querprofile zum vorgesehenen Oberbau;
- Datenblätter Straßenbahnbaureihen GT8N1 und GT8N;
- Aktuelle Bebauungspläne des Landes Bremen;
- Lagepläne, Querprofile.

Für die Straßenbahnquerverbindung sind zwei Oberbauformen vorgesehen:

- 25 cm Betontragplatte mit kontinuierlicher Schienenlagerung auf Schienenunterguss, Schiene RI 59 N
- Schiene S49 auf Stadtbahnschwelle SBS 220, Lagerung der Schwelle auf einer Zwischenlage 3 cm PU-Lager auf Betonlängsbalken (Breite 40 cm, Stärke 35 cm).

In der vorstehenden Beschreibung sind nur die in Bezug auf die Erschütterungsemissionen des Oberbaus relevanten Bestandteile angegeben.

Im Untersuchungsbereich ist eine Geschwindigkeit der Straßenbahn von maximal $v = 50 \text{ km/h}$ vorgesehen. Diese Geschwindigkeit wird bei der Prognoseberechnung berücksichtigt.

6. Messorte

Die Auswahl der Messorte erfolgte im Rahmen einer Streckenbesichtigung.

Die Messorte wurden so ausgewählt, dass für den Untersuchungsbereich allgemeingültige Aussagen getroffen werden können. D. h. die ausgewählten Gebäude sind in Bezug auf die Einwirkung von Erschütterungen für die an der Trasse angrenzende Bebauung repräsentativ. Hierbei wurden neben dem Abstand auch die in Bezug auf Erschütterungen unterschiedlichen Bauweisen berücksichtigt. Bezogen auf ihren Abstand zur Trasse wurden die Messorte dahingehend ausgesucht, dass sie für ihre Bauweise in dem Bereich den niedrigsten Abstand aufweisen. Für die Einwirkung von Erschütterung wird damit der ungünstigste Fall betrachtet.

Im Untersuchungsbereich wurden neun Messorte für die Durchführung von Erschütterungsmessungen und Prognoseberechnungen ausgewählt:

- 1. ASV_14_1: Bremen, Bennigsenstraße 5**
- 2. ASV_14_2: Bremen, Bennigsenstraße 7**
- 3. ASV_14_3: Bremen, Kirche der „Alt Hastedter Kirchengemeinde“**

Die Lage der Messorte im Untersuchungsgebiet ist in dem Lageplan der Beilage A dargestellt.

Die für den Messort maßgebende Gebietsausweisung ist in den Ergebnistabellen und in den Tabellen zur Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke im Anhang des Gutachtens für die untersuchten Messorte angegeben.

7. Mess- und Beurteilungsverfahren

7.1 Einwirkung auf den Menschen, DIN 4150, Teil 2

Nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz können Immissionen durch Erschütterungen grundsätzlich schädliche Umwelteinwirkungen hervorrufen. Vergleichbare gesetzliche Regelungen für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen gibt es dagegen noch nicht. Das Regelungsdefizit begründet sich in der Verordnungsermächtigung des § 43 Abs. 1 BImSchG, in der Erschütterungen nicht angesprochen sind.

Aufgrund fehlender gesetzlicher Grenzwerte gilt die DIN 4150, Teil 2, "Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden" als Äußerung einschlägigen Sachwissens und als geeignete, wenn auch unverbindliche Grundlage für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen. Dieses Normblatt nennt für Erschütterungsimmissionen Anhaltswerte, bei deren Einhaltung nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen ist. Die DIN 4150-2 vom Juni 1999 stellt hierzu den aktuellen Kenntnisstand dar.

Nachfolgende **Tabelle 1** enthält Anhaltswerte A der bewerteten Schwingstärke KB_F , zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen. Sie beziehen sich wie folgt auf die beiden Beurteilungsgrößen:

- KB_{Fmax} - die maximale bewertete Schwingstärke,
- KB_{FTr} - die Beurteilungs-Schwingstärke, siehe unten.

Tabelle 1

Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen aus der DIN 4150 T 2

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und ggf. ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vgl. Industriegebiete § 9 BauNVO).	0.4	6	0.2	0.3	0.6	0.15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vgl. Gewerbegebiete § 8 BauNVO).	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 (vgl. Kerngebiete § 7 BauNVO, Mischgebiete § 6 BauNVO, Dorfgebiete § 5 BauNVO).	0.2	5	0.1	0.15	0.3	0.07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vgl. reines Wohngebiet § 3 BauNVO, allgemeines Wohngebiete § 4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete § 2 BauNVO).	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 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkung vorgenommen ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.

Die in der Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2, enthaltenen Zahlenwerte werden wie bereits erwähnt als „Anhaltswerte“ bezeichnet. Damit wird klargestellt, dass es sich bei diesen Werten um empfohlene Werte und nicht um gesicherte Grenzwerte handelt. Bei Einhaltung der Anhaltswerte können erhebliche Belästigungen der in den Gebäuden lebenden Menschen im Allgemeinen ausgeschlossen werden.

Die beiden Beurteilungsgrößen sind in der Regel getrennt für die drei Richtungskomponenten x , y (horizontal) und z (vertikal) zu ermitteln, wobei die jeweils größte der drei der Beurteilung zugrunde zulegen ist. In Räumen von Wohnungen wird jedoch im Allgemeinen nur die vertikale Komponente gemessen und ausgewertet, da diese bei Deckenschwingungen i. d. R. maßgebend ist.

Für den oberirdischen öffentlichen Schienenpersonennahverkehr (ÖPNV) sind bei der Beurteilung einige Besonderheiten zu beachten. Danach erfolgt die Beurteilung ausschließlich anhand der Kriterien A_u (für KB_{Fmax}) und A_r (für KB_{FTTr}).

Dies gilt insbesondere für neu zu bauende Strecken. Die (oberen) Anhaltswerte A_o erhalten beim Schienenverkehr eine andere Bedeutung als in der übrigen Norm. Für den Schienenverkehr hat der obere Anhaltswert A_o für den Nachtzeitraum dabei nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten anzusehen sind. Für oberirdisch geführte Schienenverkehrswege gilt:

$$A_o = 0.6 \text{ (gebietsunabhängig).}$$

Liegen jedoch nachts einzelne KB_{Fmax} - Werte über $A_o = 0.6$ (oberirdisch), so sind die Ursachen zu ermitteln. Diese hohen KB_{Fmax} - Werte sind bei der Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} mit zu berücksichtigen.

Bei der Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} für den Schienenverkehr werden die Zuschläge für Ruhezeiten nicht angewandt.

Zur Beurteilung der KB-Werte ist die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} mit den Anhaltswerten A_u (unterer Anhaltswert) und A_r (oberer Anhaltswert) für neu zu bauende Bahnanlagen nach der folgenden Methodik zu vergleichen:

- ist $KB_{Fmax} \leq A_u$, so ist die Anforderung der Norm eingehalten,
- Für häufigere Einwirkungen (und hierzu zählt in der Regel Schienenverkehr), bei denen KB_{Fmax} größer als A_u ist, ist ein weiterer Prüfschritt für die Entscheidung erforderlich, nämlich die Bestimmung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} . Ist KB_{FTr} nicht größer als der Anhaltswert A_r nach Tabelle 1 der DIN-Norm 4150, Teil 2, sind die Anforderungen der Norm ebenfalls eingehalten.

Das A_r -Kriterium dient einer angemessenen Beurteilung von häufig, aber unregelmäßig wiederkehrenden Erschütterungen; es entspricht dem Grundgedanken des Mittelungspegels beim Schall.

Für den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) wie im vorliegenden Fall gelten die um den Faktor 1.5 angehobenen A_u – und A_r - Werte der Tabelle 1.

Die bei der vorzunehmenden Beurteilung zu berücksichtigende Gebietsausweisung für den Bereich der untersuchten Messorte ist in den Tabellen zu Berech-

nung der Beurteilungs-Schwingstärke im Anhang und in den Ergebnistabellen angegeben.

Ergänzend sei darauf hingewiesen, dass selbst bei Einhaltung des unteren Anhaltswertes A_v die Fühlbarkeit von Erschütterungen nicht ausgeschlossen werden kann. Die Fühlschwelle liegt bei den meisten Menschen im Bereich zwischen $KB = 0.1$ und $KB = 0.2$. Erschütterungen um $KB = 0.3$ werden beim ruhigen Aufenthalt in Wohnungen überwiegend bereits als gut spürbar und entsprechend stark störend wahrgenommen.

7.2 Einwirkung auf die bauliche Substanz der Kirche der „Alt Hastedter Kirchengemeinde“ nach der DIN 4150, Teil 3

Gebäudeschäden durch Erschütterungen aus Straßen- und Straßenbahnverkehr können i.d.R. bei üblichen Wohngebäuden mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Da das Kirchgebäude jedoch auf Grund seines baulichen Zustandes als besonders erschütterungsempfindlich zu bewerten ist, wurden für die Kirche Messungen und Prognoseberechnungen durchgeführt um eine mögliche Gefährdung der baulichen Substanz bewerten zu können.

Anhaltswerte für maximal zulässige Schwinggeschwindigkeitsamplituden zur Beurteilung der Wirkungen auf Gebäude sind in der DIN 4150, Teil 3, "Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkung auf bauliche Anlagen" angegeben. Im vorliegenden Fall sind zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen die Anhaltswerte für Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder ihrer Nutzung gleichartigen Bauten heranzuziehen.

Die in der DIN 4150, Teil 3, genannten Anhaltswerte haben dabei nicht ohne weiteres die Bedeutung von Immissionsgrenzwerten im Sinne des Bundesimmissionsschutzgesetzes.

Zur Bewertung von Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude und Bauteile können diese Werte jedoch als Beurteilungshilfe dienen, denn sie kennzeichnen für den überwiegenden Teil der heute vorhandenen Gebäude eine Schwelle, bei deren Einhaltung Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes kaum zu erwarten sind, bei deren Überschreitung das Risiko derartiger Schäden aber zunimmt.

Eine Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden oder Gebäudeteilen durch Erschütterungseinwirkungen im Sinne der DIN 4150, Teil 3, ist z.B.:

- Beeinträchtigung der Standsicherheit von Gebäuden und Bauteilen,
- Verminderung der Tragfähigkeit von Decken.

Bei Wohngebäuden und in Ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartigen Bauten und als besonders erschütterungsempfindlich einzustufende Bauten (vgl. Tabelle 1, Zeilen 2 und 3 aus DIN 4150, Teil 3) ist eine Verminderung des Gebrauchswertes auch gegeben, wenn z.B.

- Risse im Putz von Wänden auftreten;
- bereits vorhandene Risse in Gebäuden vergrößert werden;
- Trenn- und Zwischenwände von tragenden Wänden oder Decken abreißen.

Diese Schäden werden auch als leichte Schäden bezeichnet.

Es wird zwischen kurzzeitigen Bauwerkerschütterungen und Dauererschütterungen unterschieden. Die Erschütterungen aus dem Straßenverkehr und dem Betrieb der Straßenbahn sind als Dauererschütterungen zu bewerten.

Für Dauererschütterungen ist unter Zugrundelegung von Abschnitt 6 der DIN 4150, Teil 3, "Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkung auf bauliche Anlagen" davon auszugehen, dass für besonders erschütterungsempfindliche Gebäude bei Schwinggeschwindigkeiten von 2.5 mm/s gemessen im obersten Stockwerk für die horizontale Richtung, keine Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes zu erwarten sind. Für vertikale Deckenschwingungen kann bei denkmalgeschützten Gebäuden ein Wert von 5 mm/s angenommen werden. Nach bisherigen Erfahrungen sind auch bei denkmalgeschützten Gebäuden bei Einhaltung der vorstehenden Anhaltswerte keine leichten Schäden zu erwarten.

7.3 Einwirkung auf die Orgel der Kirche der Alt Hastedter Kirchengemeinde, DIN 4150, Teil 3

In der allgemein zum Thema Erschütterungen vorhandenen Literatur sind keine Hinweise zur Beurteilung der Einwirkung von Erschütterungen auf Orgeln enthalten. Für den Betrieb bzw. die Möglichkeit einer Schadensentstehung können damit keine Anhaltswerte, wie z.B. bei der Beurteilung von Gebäuden, angegeben werden. Hier bleibt nur die Möglichkeit, die im heutigen Zustand vorhandenen Erschütterungen zu bestimmen und mit den Werten des Prognosezustandes zu vergleichen. Liegen die zu erwartenden Werte dabei unter den vorhandenen Werten oder sind in der gleichen Größenordnung können Schäden bzw. Beeinträchtigungen im Betrieb weitestgehend ausgeschlossen werden. Dabei ist anzumerken, dass im Aufbau der Orgel durch verschiedene Vorgänge, die im Zusammenhang mit dem Betrieb der Orgel stehen, ebenfalls Erschütterungen ausgelöst werden.

8. Messdurchführung

8.1 Messpunkte Erschütterung

Die Messungen wurden für die drei im Folgenden beschriebenen Messrichtungen durchgeführt:

- z vertikal,
- y horizontal quer zur Quelle d.h. hier senkrecht zur Trasse,
- x horizontal parallel zur Quelle d.h. hier parallel zur Trasse.

Die Messungen werden für Wohngebäude an folgenden Messpunkten durchgeführt:

MPA/B	Vertikale Geländemesspunkte,
MP1z	Fundament vertikal,
MP1y	Fundament horizontal senkrecht zur Trasse,
MP1x	Fundament horizontal parallel zur Trasse,
MP2z	vertikaler Fußbodenmesspunkt im EG in einem zur Trasse gelegenen Raum, etwa in Raummitte,
MP3z	vertikaler Fußbodenmesspunkt im 1.OG in einem zur Trasse gelegenen Raum, etwa in Raummitte,
MP4z	ggf. vertikaler Fußbodenmesspunkt im letzten bewohnten OG in einem zur Trasse gelegenen Raum, etwa in Raummitte.

Die Lage und Beschreibung der Messpunkte ist den Anlagen zur Messortbeschreibung zu entnehmen. Die Lage der Messpunkte wurde fotografisch dokumentiert, aus datenschutzrechtlichen Gründen sind jedoch die Bilder von Messpunkten in Wohnbereichen nicht in den öffentlich ausgelegten Unterlagen zur Messortbeschreibung des Gutachtens enthalten.

Die Decken- bzw. Immissionsmesspunkte MP2z – MP4z dienen der Beurteilung der Erschütterungseinwirkung auf den Menschen. Die in den Deckenmesspunkten bestimmten Messwerte sind dabei in hohem Maße von der Deckenkonstruktion (dynamische Steifigkeit der Decke), der Art des Bodenbelages und der Massenverteilung auf der Decke abhängig. Aufgrund der Tatsache, dass die beiden letztgenannten Faktoren Änderungen unterworfen sein können (z. B. Umstellen der Möbel, Auftragen schwimmenden Estrichs usw.), hat dies auch Auswirkungen auf die Ergebnisse der zweiten Messung, d. h. die Messergebnisse können unter ungünstigen Umständen nicht mehr reproduzierbar sein. Um hier für den Fall von Nachmessungen über vergleichbare Werte zu verfügen, wurden auch Messungen am Fundament (Messpunkte MP1x/y/z) vorgenommen. Im Gegensatz zu den Deckenmesspunkten sind die Messwerte am Fundament von eventuellen Änderungen weitestgehend unabhängig, so dass hier bei den Nachmessungen mit hoher

Sicherheit reproduzierbare Messergebnisse zu erwarten sind. Mit den Messergebnissen für den Fundamentbereich sind auch Aussagen über eine eventuelle Einwirkung der Erschütterungen auf die Gebäudesubstanz möglich.

Über die vertikalen Geländemesspunkte MP Az/Bz/Cz wird die spektrale Übertragungsfunktion zwischen Gelände und dem Immissionsmesspunkt für die vertikale Richtung bestimmt. Die Prognoseberechnungen beruhen u.a. auf dieser messtechnisch bestimmten Übertragungsfunktion. Um mögliche Fehler bei der geländeseitigen Messung auszuschließen, wurden zwei Geländemesspunkte gesetzt, über die bei der Auswertung gemittelt wird. Die Geländemesspunkte werden i.d.R. in einem Abstand von 1 m vor dem untersuchten Gebäude gesetzt.

Für die in der Kirche der Alt Hastedter Kirchengemeinde durchgeführten Messungen wurden zusätzlich noch die horizontalen Schwingungen in der obersten Ebene des Glockenturms gemessen.

8.2 Mess- und Auswertegeräte

- 9 Kanal - Schwingungsmesssystem BEITZER S9000.

Zur Messung der Erschütterungen wurden *Schwingungsgeschwindigkeitsmesser* eingesetzt, die nach elektrodynamischen Verfahren zur Schwingungsgeschwindigkeit proportionale elektrische Werte liefern. Der Frequenzbereich der eingesetzten Geophone liegt zwischen 1 Hz und 320 Hz. Die Erschütterungssignale wurden von einem Messrechner aufgezeichnet, die Auswertung erfolgte durch den Rechner.

8.3 Ablauf und Auswertung der Messungen

Für die gemessenen Ereignisse (Vorbeifahrten von LKW und Linien- bzw. Reisebussen und Hintergrundmessungen) wurden folgende Informationen aufgezeichnet:

- per Protokoll:
Fahrzeugart, Fahrspur (1 bezeichnet die nächstgelegene, 2 die gegenüberliegende), Zeitpunkt;
- per Computer:
Signalverlauf der Erschütterung.

Die Messungen dienen in erster Linie zur Ermittlung der gebäudespezifischen frequenzabhängigen Übertragungsfaktoren. Diese Übertragungsfunktionen Gelände- auf Immissionsmesspunkte wurden als Mittelwerte im Terzbereich aus den gemessenen Zeitsignalen berechnet. Da eine alleinige Ermittlung dieser Faktoren mittels der Erschütterungen aus dem Straßenverkehr und dem gemessenen Hintergrund im Frequenzbereich ab 40 Hz aufgrund der gebäudeeigenen Schwingungen (Heizungsanlagen etc.) mit hohen Ungenauigkeiten verbunden ist, wurden zusätzlich Messungen mit Anregung durch einen Vibrationsverdichter durchgeführt. Bei dieser Form der Anregung ist in dem Frequenzbereich ab 40 Hz eine der späteren Realität bei Anregung durch Stadtbahn entsprechende Übertragungsfunktion zu erwarten.

8.4 Ergebnisse der Erschütterungsmessungen

Die Ergebnisse der Erschütterungsmessungen sind für die untersuchten Messorte und Ereignisklassen in den Tabellen der Beilagen ASV_14_1/2/3 dargestellt. In den Tabellen sind für die Messpunkte im Einzelnen aufgeführt:

- der KB_{Fmax} – Wert des gemessenen Ereignisses;
- für den Messort ASV_14_3 die maximale Schwinggeschwindigkeit v_{max}
- Fahrzeugart bzw. Ereignisklasse;
- Uhrzeit;
- die minimalen und maximalen Werte KB_{Fmax} der Ereignisklasse (Fahrspur ggf. Fahrzeugart);

- der mittlere Maximalwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$ (quadratischer Mittelwert entspricht dem Taktmaximaleffektivwert KB_{FTm}) aus den für die einzelnen Ereignisse je Ereignisklasse aufgetretenen Werten für KB_{Fmax} sowie die dazugehörige Standardabweichung s ;
- für den Messort ASV_2014_3 der Mittelwert der maximalen Schwinggeschwindigkeit;
- die minimalen und maximalen Werte KB_{Fmax} (für den Messort ASV_14/3 maximale Schwinggeschwindigkeit v_{max}) der Ereignisklasse.

9. Zusammenstellung der Messergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Erschütterungsmessungen zur Beweissicherung aus dem Straßenverkehr dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass diese Angaben einen rein informellen Charakter haben und in keinem Fall für die Beurteilung maßgebend sind. Die durchgeführten Messungen dienen in erster Linie zur Ermittlung der schwingungstechnischen Eigenschaften der untersuchten Gebäude.

In den Tabellen werden für die Ergebnisse der Erschütterungsmessungen angegeben:

- der höchste Wert der maximalen bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} (bzw. v_{max} für ASV_14_3) der während der Messung aufgetreten ist;
- der höchste quadratische Mittelwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$ (bzw. $\langle v_{max} \rangle$ für ASV_14_3) über die gemessenen Ereignisklassen;
- Gebietsausweisung für den Bereich des Messortes;
- Deckenaufbau im Bereich der Immissionsmesspunkte;
- Abstand vom nächstgelegenen Gleis (Gleismitte) für den heutigen (Ist) und den geplanten Zustand.

Tabelle 2:

Messergebnisse der Beweissicherung (Straßenverkehr) für Messort ASV_14_1

Bremen, Bennigsenstraße 5,

Gebietsausweisung: W

Deckenaufbau Souterrain: MP1x/y/z

Deckenaufbau EG: MP2z

Deckenaufbau 1.OG: MP3z

Deckenaufbau DG: MP4z

Ergebnistabellen siehe Beilage

Messortbeschreibung siehe Beilage

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung Straßenbahn ca. 23 m

Sohlplatte

Holzbalkendecke

Holzbalkendecke

Holzbalkendecke

ASV_14_1/E

ASV_14_1/E

Messpunkt	MP1z	MP1y	MP1x	MP2z EG	MP3z 1.OG	MP4z DG	Mittel aus MP Bz/Cz
	Souterrain						
KB _{Fmax}	0.04	0.01	0.03	0.27	0.20	0.09	0.07
Maximalwert <KB _{Fmax} >	0.03	0.01	0.01	0.20	0.15	0.06	0.05

Tabelle 3:

Messergebnisse der Beweissicherung für Messort ASV_14_2

Bremen, Bennigsenstraße 7,

Gebietsausweisung: W

Deckenaufbau: MP2z

Deckenaufbau: MP3z

Ergebnistabellen siehe Beilage

Messortbeschreibung siehe Beilage

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung Straßenbahn ca. 18 m

Betondecke

Betondecke

ASV_14_2/E

ASV_14_2/M

Messpunkt	MP1z	MP1y	MP1x	MP2z EG	MP3z 1.OG	Mittel aus MP A/B
KB _{Fmax}	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.10
Maximalwert <KB _{Fmax} >	0.02	0.00	0.01	0.02	0.02	0.06

Tabelle 4:

Messergebnisse der Beweissicherung für Messort ASV_14_3

Bremen, Kirche der Alt Hastedter Kirchengemeinde,

Ergebnistabellen siehe Beilage

Messortbeschreibung siehe Beilage

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung ca. 18 m

Straßenbahn

ASV_14_3/E

ASV_14_3/M

Messpunkt	Empore Orgel			Glockenturm			Mittel aus MP A/B
Messpunkt	MP1z	MP1y	MP1x	MP2z	MP2y	MP2x	
V _{max}	1.30	0.38	0.25	0.54	0.90	1.22	0.34
Maximalwert <V _{max} >	0.98	0.20	0.21	0.38	0.42	0.56	0.25

10. Berechnung der zu erwartenden Immissionswerte aus dem Betrieb der Straßenbahn

Ziel der Erschütterungsprognose ist die Ermittlung der nach Durchführung der geplanten Maßnahmen zu erwartenden Werte für den mittleren Maximalwert der maximalen bewerteten Schwingstärke $\langle KB_{Fmax} \rangle$.

Die Vorgehensweise bei Erschütterungsprognosen basiert auf Messergebnissen sowie theoretischen Überlegungen. Das schwingungstechnische Gesamtsystem von der Erschütterungsquelle bis zum Immissionsort wird dabei in mehrere entkoppelte Teilsysteme unterteilt:

- a. Quelle mit der Ankopplung an den Erdboden
- b. Ausbreitung der Erschütterungen über den Erdboden bis vor das Gebäude
- c. Übergang der Erschütterungen vom Erdboden auf das Gebäudedefundament
- d. Übergang der Erschütterungen vom Gebäudedefundament auf die Geschossdecke.

Für die Ermittlung der zukünftigen Schwingungsimmissionen sind demnach zwei Kenngrößen erforderlich:

- (1) Das Spektrum der Erschütterungsemissionen für die Straßenbahn mit der vorgesehenen Geschwindigkeit in zwei definierten Bezugsabständen von 8 bzw. 16 m für vergleichbare Oberbauten und Fahrzeuge.
- (2) Die spektrale Differenz zwischen dem Mittelwert der Messergebnisse der vertikalen Geländemesspunkte MP Az/Bz/Cz und dem entsprechenden Messwert des vertikalen Immissionsmesspunktes MP2z im Deckenbereich. Der Abstand der Geländemesspunkte von dem nächstgelegenen Gleis der vorgesehenen Trassierung sollte dabei annähernd den oben definierten Bezugsabständen von 8 bzw. 16 m entsprechen. Bei einigen Messorten konnten für die Geländemesspunkte diese Abstände nicht eingehalten werden. In diesen Fällen wurden an den Emissionsspektren entfernungsabhängige Korrekturen vorgenommen. In dieser gemessenen Übertragungsfunktion ist der Einfluss durch die oben beschriebenen Teilsysteme c und d, die den Übertragungsweg

vom Gelände bis zum Immissionsmesspunkt beschreiben, vollständig erfasst. Das Differenzspektrum wurde aus den während der Beweissicherungsmessungen gespeicherten Zeitverläufen der Erschütterungssignale ermittelt. Dabei wurde für jede Vorbeifahrt die spektrale Übertragungsfunktion bestimmt. Aus diesen spektralen Übertragungsfunktionen wurde ein spektraler Gesamtmittelwert gebildet. Die bei den Berechnungen für die jeweiligen Messorte zugrunde gelegten, spektralen Übertragungsfunktionen sind in den Beilagen zur Prognoseberechnung ASV_2014_(1/2/3)/P dargestellt.

Durch Addition dieser oben beschriebenen Spektren ergibt sich das zukünftig zu erwartende Immissionsspektrum aus der geplanten Trassenlage im Bereich der vertikalen Immissionsmesspunkte. Die prognostizierten Immissionsspektren sind in den Beilagen zur graphischen Darstellung der Prognoseberechnung ASV_2014_(1/2/3)/P dargestellt.

Das Emissionsspektrum zu (1) für die Straßenbahnen der Baureihe GT8N und GT8N1 wurde bei in Bremen durchgeführten Messungen für die vorgesehenen Oberbausysteme ermittelt. Die Ausführungen des Oberbaus sind im Abschnitt 4 „Betriebstechnische Planungsdaten“ beschrieben.

Das Emissionsspektrum zu (1) für die Straßenbahnen der Baureihe GT8N und GT8N1 wurde bei in Bremen durchgeführten Messungen für die vorgesehenen Oberbausysteme ermittelt. Die Ausführungen des Oberbaus sind im Abschnitt 4 „Betriebstechnische Planungsdaten“ beschrieben.

Die Messungen wurden in folgenden Bereichen durchgeführt:

- Oberbau 25 cm Betontragplatte mit kontinuierlicher Schienenlagerung auf Schienenunterguss, Schiene RI 59 N; Messung im Bereich „Friedrich – Ebert – Straße“.
- Schiene S49 auf Stadtbahnschwelle SBS 218. Lagerung der Schwelle auf einer Zwischenlage auf 3 cm PU-Lager auf Betonlängsbalken (Breite 40 cm, Stärke 35 cm), Messung im Bereich „Hansator“.

Die aus den Messungen als energetischer Mittelwert über die Vorbeifahrten ermittelten Emissionsspektren, die bei den Prognoseberechnungen zugrunde gelegt wurden, sind in der Beilage ASV_14/E dargestellt. Zusätzlich sind die bei

der jeweiligen Prognoseberechnung zugrunde gelegten Emissionsspektren in den Beilage ASV_2014_(1/2/3)/P zur Prognoseberechnung dargestellt.

Da die Straßenbahnen bei den Emissionsmessungen nicht mit der in den zu berücksichtigenden Geschwindigkeiten gemessen werden konnten, wurden die die spektralen Emissionswerte einer geschwindigkeitsabhängigen Korrektur unterzogen.

Die geschwindigkeitsabhängige Pegelkorrektur wird nach folgender Beziehung berechnet (Flesch „Baudynamik“) berechnet:

$$dL_v = 20 * \log (v_p / v_m)^{1.084}$$

mit

v_p : Fahrgeschwindigkeit Straßenbahn Prognose $v = 50$ km/h

v_m : Fahrgeschwindigkeit Straßenbahn Emissionsmessung.

Da die Prognoseberechnung und damit die Berechnung der zu erwartenden KB – Werte auf Mittelwertspektren über mehrere Vorbeifahrten der entsprechenden Zugart beruhen, wird für die Prognose nur der mittlere Maximalwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$ berechnet.

10.1 Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke

Bei Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} ist die Zahl der vorgesehenen Ereignisse für den Tag- und Nachtzeitraum zu berücksichtigen. Die entsprechenden Ausgangsdaten sind den Tabellen zur Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} in den Anlagen für den Zustand nach Ausführung der Maßnahmen zu entnehmen.

Die Angaben zum Betriebsprogramm wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt.

Für den hier untersuchten Bereich ist von folgenden Zugzahlen für beide Richtungen auszugehen:

Tag = 184 Züge / Nacht = 20 Züge

Im hier untersuchten Bereich ist ein Betrieb mit der neueren Baureihe GT8N1 und der Baureihe GT8N vorgesehen. Da über die Verteilung der beiden Baureihen

gegenwärtig keine Angaben vorliegen, wird von einer Verteilung von 50/50 % ausgegangen.

Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTTr} wird für den Schienenverkehr nach folgender Beziehung ermittelt:

$$KB_{FTTr} = \sqrt{\frac{1}{N_r} \cdot \sum_{j=1}^L (M_j \cdot KB_{FTmj}^2)}$$

N_r :	Anzahl der 30 – Sekunden – Takte im Beurteilungszeitraum; tags $N_r = 1920$ Takte nachts $N_r = 960$ Takte
KB_{FTmj} :	Taktmaximal-Effektivwerte der Zugklasse j (z.B. Baureihe GT8N Gleis 1. Baureihe GT8N1 Gleis 1 u.s.w), entspricht dem für die Zugklasse berechneten mittleren Maximalwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$.
M_j :	Anzahl der durch die Zugklasse j während der Beurteilungszeit belegten Takte (Anzahl der Vorbeifahrten).
L:	Anzahl der unterschiedlichen Zugklassen.

Die Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTTr} wird in den Tabellen der Beilage ASV_2014_(1/2) vorgenommen. Den Tabellen in den Beilagen zur Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTTr} sind zu entnehmen:

- die bei der Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke zugrunde gelegte Anzahl der Straßenbahnfahrten (Baureihen GT8N1) Tag/Nacht;
- für jede Zugklasse (Gleis) der mittlere Maximalwert Mittelwert (Effektivwert) $\langle KB_{Fmax} \rangle$;
- die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTTr} ;
- Gebietsausweisung für den Messort;
- Anhaltswerte nach DIN 4150, Teil 2 (um den Faktor 1.5 für den ÖPNV angehoben);
- Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2.

Für den Messort ASV_2014_3 „Kirche der Alt Hastedter Kirchengemeinde“ wird keine Beurteilung nach der DIN 4150, Teil 2 vorgenommen, da hier die Einwirkung auf das Gebäude nach der DIN 4150, Teil 3 im Vordergrund steht.

11. Ergebnisse der Prognoseberechnung Straßenbahn und Beurteilung der zukünftigen Situation

Aus den berechneten Prognosespektren für das nächstgelegene Gleis wird über eine KB-Bewertung der Terzbänder und deren energetischer Addition der KB-bewertete Summenpegel L_v berechnet. Aus diesen Summenpegeln L_v errechnen sich die KB_F – Werte. In den nachfolgenden Tabellen werden angegeben:

- der höchste zu erwartende mittlere Maximalwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$ (Effektivwert) für Straßenbahnvorbeifahrten;
- die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} für den zukünftigen Zustand;
- Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2.

Tabelle 5:

Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort ASV_14_1

Bremen, Bennigsenstraße 5,

Gebietsausweisung: WA nach Zeile 4 von Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 zu beurteilen,

Anhaltswerte für ÖPNV um den Faktor 1.5 höher.

Ergebnistabellen Beweissicherung siehe Beilage

Berechnung Beurteilungsschwingstärke s. Beilage

Spektrale Schwingschnellepegel zur Prognoseberechnung s. Beilage

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung

Vorgesehene Geschwindigkeit Straßenbahn

ASV_14_1/E

ASV_14_1/K

ASV_14_1/P

18 m

50 km/h

Messpunkt	Maximalwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$ A_u (Tag/Nacht) = 0.225 / 0.15	KB_{FTr} (Tag)	DIN 4150, T2 eingehalten ? $A_r = 0.105$	KB_{FTr} (Nacht)	DIN 4150, T2 eingehalten ? $A_r = 0.075$
MP2z, EG	0.08	Keine Berechnung $\langle KB_{Fmax} \rangle \leq A_u$	ja	Keine Berechnung $\langle KB_{Fmax} \rangle \leq A_u$	ja
MP3z, 1.OG	0.12	Keine Berechnung $\langle KB_{Fmax} \rangle \leq A_u$	ja	Keine Berechnung $\langle KB_{Fmax} \rangle \leq A_u$	ja
MP4z, DG	0.11	Keine Berechnung $\langle KB_{Fmax} \rangle \leq A_u$	ja	Keine Berechnung $\langle KB_{Fmax} \rangle \leq A_u$	ja

Tabelle 6:

Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort ASV_14_2

Bremen, Bennigsenstraße 7,

Gebietsausweisung: WA nach Zeile 4 von Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 zu beurteilen,

Anhaltswerte für ÖPNV um den Faktor 1,5 höher.

Ergebnistabellen Beweissicherung siehe Anlage

ASV_14_3/E

Spektrale Schwingschnellepegel zur Prognoseberechnung s. Anlage

ASV_14_3/P

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung

20 m

Vorgesehene Geschwindigkeit Straßenbahn

50 km/h

Messpunkt	Maximalwert <v _{max} >	KB _{FT_r} (Tag)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.105	KB _{FT_r} (Nacht)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.075
MP2z, EG	0.10	Keine Berechnung <KB _{Fmax} > ≤ A _u	ja	Keine Berechnung <KB _{Fmax} > ≤ A _u	ja
MP3z, 1.OG	0.14	Keine Berechnung <KB _{Fmax} > ≤ A _u	ja	0.019	ja

Für die Kirche der „Alt Hastedter Kirchengemeinde“ wird eine Beurteilung der Einwirkung auf das Gebäude und die Orgel vorgenommen. Maßgebend ist dabei der Wert für die maximale Schwinggeschwindigkeit v_{\max} der durch Multiplikation des KB-Wert mit einem Faktor von 2.5 ermittelt wird. Dieser Faktor der die Differenz zwischen dem KB- und den Wert der maximalen Schwinggeschwindigkeit v_{\max} beschreibt, wurde aus den Messungen durch einen Vergleich Werte ermittelt. In der nachfolgenden Tabelle werden für die Einwirkung auf das Gebäude die für die maximale Schwinggeschwindigkeit ermittelten Werte mit den Anhaltswerten der DIN 4150, Teil 3 verglichen. Bezogen auf eine mögliche Einwirkung auf die Orgel werden die Prognosewerte mit den Werten der durchgeführten Messung verglichen.

Tabelle 7:

Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort ASV_14_3

Bremen, Bennigsenstraße 7.

Ergebnistabellen Beweissicherung siehe Anlage

Spektrale Schwingschnellepegel zur Prognoseberechnung s. Anlage

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung

Vorgesehene Geschwindigkeit Straßenbahn

ASV_14_3/E

ASV_14_3/P

20 m

50 km/h

Messpunkt	Maximalwert V _{max} Prognose	DIN 4150, T2 eingehalten ? Anhaltswert nach Zeile 3 der Tab.3 DIN 4150, T 3 2.5 mm/s	Maximalwert V _{max} Messung Beweissicherung	DIN 4150, T2 eingehalten ? Anhaltswert nach Zeile 3 der Tab.3 DIN 4150, T 3 2.5 mm/s	Prognosewert höher als Wert Beweissicherung ?
MP1z, Empore Orgel, vertikal	0.98	ja	1.30	ja	nein
MP1y, Empore Orgel horizontal	0.29	ja	0.38	ja	nein
MP1x, Empore Orgel horizontal	0.15	ja	0.25	ja	nein
MP2z, Glockenturm, vertikal	0.18	ja	0.54	ja	nein
MP2y, Glockenturm horizontal	0.41	ja	0.90	ja	nein
MP2x, Glockenturm horizontal	0.42	ja	1.22	ja	nein

Aus den Ergebnissen der Prognoseberechnungen können zu der zu erwartenden Einwirkung von Erschütterungen aus dem Betrieb der Straßenbahn folgende Aussagen abgeleitet werden.

1. Die vorliegende Untersuchung wurde für einzelne Gebäude durchgeführt. Die Gebäude wurden hinsichtlich ihrer Bauweise derart ausgesucht, dass sie für die Bebauung in dem betroffenen Bereich repräsentativ sind und damit hinsichtlich der schwingungstechnischen Eigenschaften auf die benachbarte Bebauung übertragbar sind.
2. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 für die untersuchten Messorte und Messpunkte eingehalten werden und auch für die weitere Bebauung keine andere Beurteilung zu erwarten ist, sind keine vorsorgenden erschütterungsmindernden Maßnahmen im Bereich des Oberbaus erforderlich bzw. gerechtfertigt.
3. Für die Kirche der „Alt Hastedter Kirchengemeinde“ können Schäden durch

Erschütterungen aus dem Betrieb der Straßenbahn für den zukünftigen Zustand ausgeschlossen werden. Die prognostizierten und gemessenen Werte liegen deutlich unter dem maßgebenden Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 3 für Dauererschütterungen für besonders erschütterungsempfindliche Gebäude. Für die Orgel können Beeinträchtigungen durch Erschütterungen aus dem Betrieb der Straßenbahn ebenfalls ausgeschlossen werden. Die Werte auf der Empore liegen im heutigen Zustand über den prognostizierten Werten.

4. Die vorstehende Untersuchung wurde aufgrund von Vergleichsmessungen und Mittelwertbildungen durchgeführt. Es ist nicht möglich, für jedes Gebäude exakte Prognosewerte zu erhalten, da die Bauart, Deckenaufbau, Möblierung und ggf. auch spätere Umbauten eine Rolle spielen. Für sehr ungünstige schwingungstechnische Fälle könnten sich daher in Ausnahmefällen geringfügige Überschreitungen ergeben. Aufgrund der für diesen Eventualfall geringen Anzahl von Betroffenen, sowie der Geringfügigkeit der Überschreitung wären Vorsorgemaßnahmen in der Planung nicht gerechtfertigt. Der Aufwand für mögliche Maßnahmen würde hier in keinem Verhältnis zum angestrebten Schutzziel stehen.
5. Zu den Ergebnissen der Prognoseberechnung ist anzumerken, dass diese mit einer hohen Sicherheit durchgeführt wurden. D.h. nach Inbetriebnahme dürften geringere Werte als prognostiziert zu erwarten sein. Dies gilt insbesondere auch für die ausschließliche Annahme der für das nächstgelegenen Gleis ermittelten Werte auch für das zweite Gleis. Tatsächlich dürften die Werte für das zweite Gleis und damit die Beurteilungswerte KB_{FT} auf Grund des höheren Abstandes geringer ausfallen.
6. Nach Inbetriebnahme wird empfohlen, in den hier untersuchten Gebäuden/Messorten Erschütterungsmessungen nach Inbetriebnahme (Nachmessungen) vorzunehmen, um die tatsächliche Betroffenheit und damit auch die Ergebnisse der Prognose zu überprüfen. Falls die wesentliche Überschreitungen der Anhaltswerte nach der DIN 4150, Teil 2 bestätigt wird, müssten ggf. entsprechend der Höhe der Immissionen und je nach Grad der Betroffenheit des Gebäudes, schwingungsmindernde Maßnahmen (z.B. Versteifung der Decken) an dem Gebäude ergriffen bzw. die Wertminderung entschädigt werden.

7. Schäden an Gebäuden oder Sachgütern durch Erschütterungen aus dem Betrieb der Straßenbahn können anhand der prognostizierten Werte mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Bonk-Maire-Hoppmann GbR

gez. Dipl.-Phys. M. Krause

© 2015 Bonk-Maire-Hoppmann GbR, Rostocker Straße 22, D-30823 Garbsen

Bau und Vermietung von Nahverkehrsanlagen

Bremen, den _____

Straßenbahntechnisch einverstanden, Betriebsleiter der BSAG

Bremen, den _____

Liste der verwendeten Abkürzungen und Ausdrücke

Zeichen	<u>Einheit</u>	<u>Bedeutung</u>
A_o, A_u, A_r	-	Anhaltswerte aus DIN 4150, Teil 2
KB_{Fmax}	-	Die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} ist nach DIN 4150, Teil 2 der Maximalwert von $KB_F(t)$ der während der jeweiligen Beurteilungszeit auftritt und der zu untersuchenden Ursache zuzuordnen ist
KB_{FTi}	-	Die Messzeit wird nach DIN 4150, Teil 2 in Takte von je $T = 30 \text{ sec}$ eingeteilt. Jedem dieser Takte wird der darin erreichte Maximalwert der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$ zugeordnet, im Folgenden bezeichnet als KB_{FTi} . Der Index i nummeriert die Takte
KB_{FTr}	-	Der Wert für die Beurteilungs-Schwingstärke ist nach DIN 4150, Teil 2 ist der Taktmaximal-Effektivwert über die Beurteilungszeit
KB_{FTm}	-	Quadratische Mittelwert über die Taktmaximalwerte KB_{FTi}
$KB_F(t)$	-	Die bewertete Schwingstärke $KB_F(t)$ nach DIN 4150, Teil 2 ist der gleitende Effektivwert mit der Zeitbewertung „Fast“ des frequenzbewerteten Erschütterungssignals
L_v	dB	Körperschallschnellepegel
$L_v(f)$	dB	Spektraler Körperschallschnellepegel
MP	-	Messpunkt
N_t	-	Anzahl Zugvorbeifahrten tags
N_n	-	Anzahl Zugvorbeifahrten nachts
v	km/h	Zuggeschwindigkeit
$v(f)$	mm/s	Effektivwert der Schwingschnelle, spektral
v_e	mm/s	Effektivwert der Schwingschnelle
v_o	mm/s	Bezugsschnelle
v_{max}	mm/s	Maximale Schwinggeschwindigkeit: Höchster Wert des Schwinggeschwindigkeitssignals über alle drei Schwingungsrichtungen der dem zu untersuchenden Ereignis, bzw. der zu untersuchenden Ursache zuzuordnen ist

Quellen, Richtlinien, Verordnungen

- ◇ Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 26.09.2002, zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 13.13.2006 (BGBl. I S. 3180)
- ◇ DIN 4150 Erschütterungen im Bauwesen,
 - Teil 1: Grundsätze, Vorermittlung und Messung; Juni 2001;
 - Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden; Juni 1999;
 - Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen; Februar 1999;
- ◇ DIN 45669 Messung von Schwingungsimmissionen
 - Teil 1: Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung; Juni 2010
 - Teil 2: Messverfahren; Juni 2006
- ◇ „Durchführung von Immissionsprognosen für Schwingungs- und Körperschalleinwirkungen“, Bericht Nr. 107, Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein – Westfalen, 1992
- ◇ DIN 45672 Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen
 - Teil 1: Messverfahren; Dezember 2009
 - Teil 2: Auswerteverfahren; Juli 1995
- ◇ Körperschall- und Erschütterungsschutz - Leitfaden für den Planer -Information Körperschall/Erschütterungen der Deutschen Bahn AG; August 1996 (Berichtigt: Februar 1999)
- ◇ Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG) in der aktuell gültigen Fassung