

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 NiedersachsenDipl.-Ing. Manfred Bonk <sup>bis 1995</sup>Dr.-Ing. Wolf Maire <sup>bis 2006</sup>Dr. rer. nat. Gerke Hoppmann <sup>bis 2013</sup>Rostocker Straße 22  
30823 Garbsen  
05137/8895-0, -95Bearbeiter: Dipl.-Phys. M. Krause  
Durchwahl: 05137/8895-23  
m.krause@bonk-maire-hoppmann.de

14 .03.2014

- 07198/eIV-

## Erschütterungstechnische Untersuchung

zum Projekt

Linie 1 Verlängerung bis Mittelshuchting  
einschließlich Linie 8 bis Landesgrenze

hier: Teilabschnitt Linie 8 (Anlage 18b)



|   |       |
|---|-------|
| Inhaltsverzeichnis.....   | Seite |
| Anlagenverzeichnis .....  | 4     |
| 1. Auftraggeber .....   | 5     |
| 2. Aufgabenstellung dieses Gutachtens .....                                 | 5     |
| 3. Örtliche Verhältnisse.....   | 7     |
| 4. Grundlagen.....  | 7     |
| 5. Betriebstechnische Planungsdaten, weitere Unterlagen .....               | 9     |
| 6. Messorte .....   | 9     |
| 7. Mess- und Beurteilungsverfahren.....                                     | 10    |
| 8. Messdurchführung .....   | 13    |
| 8.1 Messpunkte Erschütterung .....  | 13    |
| 8.2 Mess- und Auswertegeräte .....  | 15    |
| 8.3 Ablauf und Auswertung der Messungen.....                                | 15    |
| 8.4 Ergebnisse der Erschütterungsmessungen .....                            | 16    |
| 9. Zusammenstellung der Messergebnisse .....                                | 16    |
| 10. Berechnung der zu erwartenden Immissionswerte aus dem Betrieb der ..... |       |
| Straßenbahn .....   | 18    |
| 10.1 Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke.....                         | 21    |
| 11. Ergebnisse der Prognoseberechnung Straßenbahn und Beurteilung der ..... |       |
| zukünftigen Situation .....   | 22    |
| Liste der verwendeten Abkürzungen und Ausdrücke .....                       | 27    |
| Quellen, Richtlinien, Verordnungen .....                                    | 28    |

Dieses Gutachten umfasst:

28 Seiten Text  
27 Seiten Anlagen

*Datei: 07198el\_linie\_8\_ga\_doppelseite2014\_asv.doc, Autor: Dipl.-Phys. M. Krause*

## Anlagenverzeichnis

| <b>Anlage</b>       |   |
|---------------------|---|
| <b>Anlage 18.b</b>  | <b>Erläuterungsbericht</b>  |
| <b>Anlage 18.2b</b> | <b>Lageplan Messorte Erschütterung</b>  |
| <b>Anlage 18.3b</b> | <b>Darstellung der in Bremen gemessenen Emissionsspektren</b>   |
| <b>Anlage 18.4b</b> | <b>Messort L8_1: Bremen, Dovemoorstraße 8T</b>  |
| 18.4.1b             | Messort- und Messpunktbeschreibung  |
| 18.4.2b             | Ergebnistabellen Messung Beweissicherung  |
| 18.4.3b             | Berechnung Immissionsspektrum Prognose  |
| 18.4.4b             | Tabellen Berechnung Beurteilungs-Schwingstärke und Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2.                             |
| <b>Anlage 18.5b</b> | <b>Messort L8_1: Bremen, Dovemoorstraße 8T (ohne Betrachtung Weichenanlage, für Dovemoorstr. 8J, 6L, 4M, 2N))</b> |
| 18.5.3b             | Berechnung Immissionsspektrum Prognose  |
| 18.5.4b             | Tabellen Berechnung Beurteilungs-Schwingstärke und Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2.                             |
| <b>Anlage 18.6b</b> | <b>Messort L1_3: Bremen, Henstedter Straße 2</b>  |
| 18.6.1b             | Messort- und Messpunktbeschreibung  |
| 18.6.2b             | Ergebnistabellen Messung Beweissicherung  |
| 18.6.3b             | Berechnung Immissionsspektrum Prognose  |
| 18.6.4b             | Tabellen Berechnung Beurteilungs-Schwingstärke und Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2.                             |

## 1. Auftraggeber

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

## 2. Aufgabenstellung dieses Gutachtens

Die FREIE HANSESTADT BREMEN beabsichtigt die Straßenbahnlinie 1 bis *Mittelshuchting* sowie die Straßenbahnlinie 8 bis zur Landesgrenze/ Moordeich zu verlängern. Das Baurecht soll über ein Planfeststellungsverfahren nach § 28 PBefG erlangt werden.

Ein paralleles Planverfahren in Niedersachsen (betrieben über die BTE Bremen-Thedingerhauser Eisenbahn GmbH) sieht die Weiterführung der Linie 8 mit Anbindung der Randgemeinden Stuhr - Brinkum bis Leeste an das Bremer Straßenbahnnetz vor.

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 durchgeführt und auf Grundlage der DIN 4150, Teil 2 „Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“ beurteilt.

Das vorliegende erschütterungstechnische Gutachten bezieht sich auf den Anschlussbereich der **Linie 8** im Bremer Bereich und endet damit an der Bremer Landesgrenze.

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

Die geplante Straßenbahntrasse wird auf der vorhandenen Eisenbahntrasse der BTE betrieben. In der vorliegenden Untersuchung werden die Zugfahrten der BTE nicht berücksichtigt, da die Planung zur Verlängerung der Linie 1 als eigenständiges Neubauvorhaben zu bewerten ist.

Erschütterungen aus Zugfahrten auf der BTE-Trasse könnten entsprechend der DIN 4150, Teil 2 als Vorbelastung in der Beurteilung mit der Folge berücksichtigt werden, so dass die Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2 bei der Beurteilung nicht anzuwenden wären. Eine Beurteilung wäre dann ausschließlich auf Grundlage des Vergleiches der vorhandenen mit den zukünftig zu erwartenden Erschütterungen vorzunehmen. Aufgrund der sehr geringen Zugzahlen der BTE (1 Fahrt/Tag) sind der geplante Betrieb der Straßenbahn und der Zugverkehr auf der BTE-Trasse erschütterungstechnisch nicht vergleichbar. Unter diesem Gesichtspunkt sind die Erschütterungen aus der BTE-Trasse für sich allein stehend unter dem Aspekt der Vorbelastung zu beurteilen. Aufgrund der erforderlichen Erneuerung der Gleisanlagen dürften sich für den Eisenbahnverkehr der BTE zukünftig aber eher geringere Belastungen durch Erschütterungen ergeben.

Die geplanten Verlängerung der Straßenbahnlinie 1 zwischen dem Roland Center und der Huchtinger Heerstraße wurde in einem gesonderten erschütterungstechnischen Gutachten (s. Anlage 18a) untersucht.

Der Teilbereich der Linie 8 in Bremen beginnt in Höhe der *Heinrich-Plett-Allee* (nach Weichenabzweig der Linie 1) und wird über die eingleisige Bremen – Thedinghauser Eisenbahn (BTE) fortgeführt. Die vorhandene Trassierung der Gleise bleibt bestehen oder wird nur unwesentlich verändert. Des Weiteren ist eine Elektrifizierung des entsprechenden Abschnittes sowie der Bau einer Straßenbahnhaltestelle in Höhe *Dovemoorstraße* vorgesehen. Im weiteren Bereich (Bahn-km 3,25 bis Bahn-km 3,414) kommt es durch die geplante (neue) Weichenanlage auch zu einer baulichen Veränderung der Gleisanlagen.

Die Errichtung einer Weichenanlage am Ende der Strecke (Grenzbereich Bremen/ Niedersachsen) ist als „**erheblicher baulicher Eingriff**“ zu werten, so dass für

diesen Streckenabschnitt die in erschütterungstechnischer Hinsicht zu erwartenden Auswirkungen zu untersuchen sind.

### 3. Örtliche Verhältnisse

Erläuterungen zu diesem Abschnitt sind der **schalltechnischen Untersuchung zu diesem Projekt der Anlage 17b (Abschnitt 3 „Örtliche Verhältnisse“)** zu entnehmen. Der Untersuchungsbereich erstreckt sich auf die Bebauung in unmittelbarer Nachbarschaft zur geplanten Verlängerung der Linie 1, da nur die nächstgelegenen Gebäude durch Erschütterungen aus Straßenbahn und Schwerlastverkehr betroffen sind.

Das geltende Planungsrecht wird ebenfalls aus der Anlage 17b 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;
- Aktuelle Bebauungspläne des Landes Bremen;
- Lagepläne, Querprofile zur Durchführung der Emissionsmessungen.

Für die Verlängerung der Linie 8 ist in dem Untersuchungsbereich folgende Oberbauform vorgesehen:

- Schotteroberbau (im Bereich der BTE-Trasse)

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. L8\_1: Bremen, Dovemoorstraße 8T**

**2. L8\_2: Bremen, Henstedter Straße 2**

Die Lage der Messorte im Untersuchungsgebiet ist in dem Lageplan der Anlage 18.2b dargestellt.

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

## **7. Mess- und Beurteilungsverfahren**

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  $KB_{FTr}$ ). 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 Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke im Anhang und in den Ergebnistabellen angegeben.

Ergänzend sei darauf hingewiesen, dass selbst bei Einhaltung des **unteren Anhaltswertes  $A_u$  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.

## 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.

Messungen wurden 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.

## 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.

Das bei der zweiten Messung eingesetzte Messsystem BEITZER S9000 wird alle zwei Jahre durch den Hersteller kalibriert. Die aktuelle Kalibrierung erfolgte im Februar 2008.

## 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 Rüttelstampfer 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 Anlagen 18.4.2b und 18.6.2b dargestellt. In den Tabellen sind für die Messpunkte im Einzelnen aufgeführt:

- der  $KB_{F_{max}}$  – Wert des gemessenen Ereignisses;
- Fahrzeugart bzw. Ereignisklasse;
- Uhrzeit;
- die minimalen und maximalen Werte  $KB_{F_{max}}$  der Ereignisklasse (Fahrspur ggf. Fahrzeugart);
- der mittlere Maximalwert  $\langle KB_{F_{max}} \rangle$  (quadratischer Mittelwert entspricht dem Taktmaximaleffektivwert  $KB_{FTm}$ ) aus den für die einzelnen Ereignisse je Ereignisklasse aufgetretenen Werten für  $KB_{F_{max}}$  sowie die dazugehörige Standardabweichung  $s$ ;
- die minimalen und maximalen Werte  $KB_{F_{max}}$  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  $KB_{F_{max}}$  der



während der Messung aufgetreten ist;

- der höchste quadratische Mittelwert  $\langle KB_{Fmax} \rangle$  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 für Messort L8\_1

Bremen, Dovemoorstraße 8T,

Gebietsausweisung: W

Deckenaufbau EG: MP2z

Betondecke

Deckenaufbau 1.OG: MP3z

Betondecke

Deckenaufbau DG: MP4z

Holzbalkendecke

Ergebnistabellen siehe Anlage

18.4.2b

Messortbeschreibung siehe Anlage

18.4.1b

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung Straßenbahn ca. 12 m

| Messpunkt                               | MP1z | MP1y | MP1x | MP2z<br>EG | MP3z<br>1.OG | MP4z<br>DG | Mittel aus<br>MP Az/Bz/Cz |
|---|------|------|------|------------|--------------|------------|---------------------------|
| KB <sub>Fmax</sub>                      | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03       | 0.04         | 0.09       | 0.03                      |
| Maximalwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$ | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02       | 0.03         | 0.07       | 0.03                      |

Die gemessenen Erschütterungen liegen unter der Fühlschwelle und sind damit nicht wahrnehmbar.

**Tabelle 3:**

Messergebnisse der Beweissicherung für Messort L8\_2

Bremen, Henstedter Straße 2,

Gebietsausweisung: W

Deckenaufbau: MP2z

Betondecke

Deckenaufbau: MP3z

Holzbalkendecke

Ergebnistabellen siehe Anlage

18.6.2b

Messortbeschreibung siehe Anlage

18.6.1b

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

| Messpunkt                               | MP1z | MP1y | MP1x | MP2z<br>EG | MP3z<br>1.OG | Mittel aus<br>MP A/B |
|---|------|------|------|------------|--------------|----------------------|
| KB <sub>Fmax</sub>                      | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02       | 0.02         | 0.03                 |
| Maximalwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$ | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02       | 0.02         | 0.02                 |

Die gemessenen Erschütterungen liegen unter der Fühlschwelle und sind damit nicht wahrnehmbar.

## 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 Anlagen zur Prognoseberechnung 18.(4-6).3b 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 Anlagen zur graphischen Darstellung der Prognoseberechnung 18.4.3b und 18.6.3b 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.

Die Messungen wurden in folgenden Bereichen durchgeführt:

- Schiene S49 auf Stadtbahnschwelle SBS 220. Lagerung der Schwelle auf einer Zwischenlage auf 3 cm PU-Lager auf Betonlängsbalken (Breite 40 cm, Stärke 35 cm), Messung im Bereich „Hansator“.

Für den untersuchten Bereich einer gemeinsamen Führung mit der BTE-Trasse ist eine Ausführung als Schotteroberbau vorgesehen. Für einen Schotteroberbau wurden für die vorgesehenen Baureihen der Straßenbahn bisher keine Emissionsmessungen durchgeführt. Hier werden die Werte für die Oberbauform „Betonlängsbalken“ in Ansatz gebracht. Aufgrund des physikalisch vergleichbaren Anregungsmechanismus der Schwellenüberfahrt, dürfte dieser Oberbau nur geringe Abweichungen gegenüber einem herkömmlichen Schotteroberbau aufweisen. Bei in Hannover durchgeführten Messungen ergaben sich dementsprechend innerhalb der Messgenauigkeit von 15 % keine Unterschiede zwischen einem Oberbau in einer Ausführung mit Betonlängsbalken und als Schotteroberbau.

Der Messort L8\_1 (Dovemoorstraße 8T) und das baugleiche Gebäude „Dovemoorstraße 8J“ liegen im Bereich der vorgesehenen Weichenanlage. Da in diesem Bereich beim Überfahren der Herzstücke mit erhöhten Emissionen gegenüber der freien Strecke zu rechnen ist, wurden hier an den Emissionsspektren Korrekturen vorgenommen. Grundlage der Korrekturen sind Messungen an Weichen in Frankfurt a.M. und in Hannover.

Für den Messort L8\_1 wurde noch eine zusätzliche Berechnung ohne Weichenanlage durchgeführt um die zu erwartenden Erschütterungen für die weiteren baugleichen trassennahen Gebäude im Bereich Dovenmoor zu ermitteln. Da diese Gebäude auf Grund ihrer gleichen Bauweise identische schwingungstechnische Eigenschaften aufweisen, können die Ergebnisse für den Messort L8\_1 ohne jede Einschränkung übertragen werden.

Die aus den Messungen als energetischer Mittelwert über die Vorbeifahrten ermittelten Emissionsspektren, die bei den Prognoseberechnungen zugrunde gelegt wurden, sind in der Anlage 18.3b dargestellt. Zusätzlich sind die bei der jeweiligen Prognoseberechnung zugrunde gelegten Emissionsspektren in den Anlagen 18.(4-6).3b 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:

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

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

Die Angaben zum Betriebsprogramm wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt.

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

**Tag = 96 Züge / Nacht = 8 Züge**

Im hier untersuchten Bereich ist ein ausschließlicher Betrieb mit der neueren Baureihe GT8N1 bzw. deren Nachfolgebaureihen vorgesehen.

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 Anlagen 18.(4-6).4b vorgenommen.

Der Tabelle in der Anlage 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  $KB_{FTr}$ ;
- 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.

## 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 4:**

Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort L8\_1

Bremen, Dovemoorstraße 8T (mit Weiche),

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

18.4.2b

Spektrale Schwingschnellepegel zur Prognoseberechnung s. Anlage

18.4.3b

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung

12 m

Vorgesehene Geschwindigkeit Straßenbahn

50 km/h

| Messpunkt  | Maximalwert<br><KB <sub>Fmax</sub> ><br>A <sub>u</sub> (Tag/Nacht)<br>= 0.225 / 0.15 | KBF <sub>Tr</sub><br>(Tag)                                       | DIN<br>4150, T2<br>eingehalten ?<br>A <sub>r</sub> = 0.105 | KBF <sub>Tr</sub><br>(Nacht) | DIN<br>4150, T2<br>eingehalten ?<br>A <sub>r</sub> = 0.075 |
|------------|--|--|--|------------------------------|--|
| MP2z, EG   | 0.18   | Keine<br>Berechnung<br><KB <sub>Fmax</sub> > ≤ A <sub>u</sub>    | ja   | 0.016                        | ja   |
| MP3z, 1.OG | 0.18   | Keine<br>Berechnung<br><KB <sub>Fmax</sub> > ≤<br>A <sub>u</sub> | ja   | 0.016                        | ja   |
| MP4z, DG   | 0.44   | 0.098  | ja   | 0.040                        | ja   |

**Tabelle 5:**

Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort L8\_1

Bremen, Dovemoorstraße 8T (ohne Weiche),

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

18.4.2b

Spektrale Schwingschnellepegel zur Prognoseberechnung s. Anlage

18.5.3b

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung

12 m

Vorgesehene Geschwindigkeit Straßenbahn

50 km/h

| Messpunkt  | Maximalwert<br><KB <sub>Fmax</sub> ><br>A <sub>u</sub> (Tag/Nacht)<br>= 0.225 / 0.15 | KBF <sub>Tr</sub><br>(Tag)                                       | DIN<br>4150, T2<br>eingehalten ?<br>A <sub>r</sub> = 0.105 | KBF <sub>Tr</sub><br>(Nacht)                                  | DIN<br>4150, T2<br>eingehalten ?<br>A <sub>r</sub> = 0.075 |
|------------|--|--|--|---|--|
| MP2z, EG   | 0.10   | Keine<br>Berechnung<br><KB <sub>Fmax</sub> > ≤ A <sub>u</sub>    | ja   | Keine<br>Berechnung<br><KB <sub>Fmax</sub> > ≤ A <sub>u</sub> | ja   |
| MP3z, 1.OG | 0.12   | Keine<br>Berechnung<br><KB <sub>Fmax</sub> > ≤<br>A <sub>u</sub> | ja   | Keine<br>Berechnung<br><KB <sub>Fmax</sub> > ≤ A <sub>u</sub> | ja   |
| MP4z, DG   | 0.30   | 0.067  | ja   | 0.027   | ja   |

**Tabelle 6:**

Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort L8\_2

Bremen, Henstedter Straße 2,

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

18.6.2b

Spektrale Schwingschnellepegel zur Prognoseberechnung s. Anlage

18.6.3b

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung

18 m

Vorgesehene Geschwindigkeit Straßenbahn

50 km/h

| Messpunkt  | Maximalwert<br><KBF <sub>max</sub> ><br>A <sub>u</sub> (Tag/Nacht)<br>= 0.225 / 0.15 | KBF <sub>Tr</sub><br>(Tag)                                       | DIN<br>4150, T2<br>eingehalten ?<br>A <sub>r</sub> = 0.105 | KBF <sub>Tr</sub><br>(Nacht)                                     | DIN<br>4150, T2<br>eingehalten ?<br>A <sub>r</sub> = 0.075 |
|------------|--|--|--|--|--|
| MP2z, EG   | 0.11   | Keine<br>Berechnung<br><KBF <sub>max</sub> > ≤<br>A <sub>u</sub> | ja   | Keine<br>Berechnung<br><KBF <sub>max</sub> > ≤<br>A <sub>u</sub> | ja   |
| MP3z, 1.OG | 0.12   | Keine<br>Berechnung<br><KBF <sub>max</sub> > ≤<br>A <sub>u</sub> | ja   | Keine<br>Berechnung<br><KBF <sub>max</sub> > ≤<br>A <sub>u</sub> | ja   |

Aus den Ergebnissen der Prognoseberechnungen können zu der Beurteilung der zukünftigen Situation 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. Bezogen auf ihren Abstand zur Trasse wurden die Messorte dahingehend ausgesucht, dass sie für ihre Bauweise (Holzbalken- bzw. Betondecken) in dem Bereich den niedrigsten Abstand aufweisen. Für die Einwirkung von Erschütterungen wird damit der ungünstigste Fall betrachtet. Für die in dem möglicherweise betroffenen Bereich liegende Bebauung dürften damit gegenüber den untersuchten Gebäuden keine nachweisbar höheren Werte und damit grundlegend anderen Beurteilungen zu erwarten sein.
3. 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.
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. So wurde die Prognose immer für die maximale Streckengeschwindigkeit berechnet. Aufgrund der baulichen Gegebenheiten (Kurven, Weichenüberfahrten etc.) ist jedoch damit zu rechnen, dass die tatsächlichen Geschwindigkeiten und damit die Erschütterungen geringer ausfallen werden. Dies gilt auch für die ausschließliche Annahme der für das nächstgelegene 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

© 2014 Bonk-Maire-Hoppmann GbR, Rostocker Straße 22, D-30823 Garbsen

Bau und Vermietung von Nahverkehrsanlagen

Bremen, den 28.03.2014 \_\_\_\_\_ gez. B. Pieper gez. i.A. Möhl

Bremen - Thedinghauser - Eisenbahn GmbH (BTE)

Bremen, den 28.03.2014 \_\_\_\_\_ gez. Eisenberg

Straßenbahntechnisch einverstanden, Betriebsleiter der BSAG

Bremen, den 28.03.2014 \_\_\_\_\_ gez. Zimmermann

Eisenbahntechnisch einverstanden,

Eisenbahnbetriebsleiter der BTE Bremen - Thedinghauser - Eisenbahn GmbH

Bremen, den 28.03.2014 \_\_\_\_\_ gez. Zimmermann

## Liste der verwendeten Abkürzungen und Ausdrücke

| <b>Zeichen</b>  | <b><u>Einheit</u></b> | <b><u>Bedeutung</u></b>   |
|-----------------|-----------------------|---|
| $A_o, A_u, A_r$ | -                     | 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 18.18.2006 (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 1995
  - Teil 2: Messverfahren; Juni 1995
- ◇ „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; September 1991
  - Teil 2: Auswerteverfahren; September 1997
- ◇ 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