

Bonk - Maire - Hoppmann GbRGeräusche - Erschütterungen - Bauakustik
Beratende Ingenieure VBI

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 ^{bis 1995}Dr.-Ing. Wolf Maire ^{bis 2006}Dr. rer. nat. Gerke Hoppmann ^{bis 2013}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/eIII -**Erschütterungstechnische Untersuchung**

zum Projekt

Linie 1Verlängerung bis Mittelshuchting
einschließlich Linie 8 bis Landesgrenze

hier: Teilabschnitt Linie 1 (Anlage 18a)

Inhaltsverzeichnis.....	Seite
Anlagenverzeichnis	4
1. Auftraggeber	6
2. Aufgabenstellung dieses Gutachtens	6
3. Örtliche Verhältnisse.....	7
4. Grundlagen.....	8
5. Betriebstechnische Planungsdaten, weitere Unterlagen	9
6. Messorte	10
7. Mess- und Beurteilungsverfahren.....	11
8. Messdurchführung	15
8.1 Messpunkte Erschütterung	15
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	22
10.1 Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke	25
11. Ergebnisse der Prognoseberechnung Straßenbahn und Beurteilung der zukünftigen Situation	27
Liste der verwendeten Abkürzungen und Ausdrücke	36
Quellen, Richtlinien, Verordnungen	37

Dieses Gutachten umfasst:

37 Seiten Text Erläuterungsbericht
84 Seiten Anlagen

Datei: 07198e_ga_doppelseite_2014_asv.doc, Autor: Dipl.-Phys. M. Krause

Anlagenverzeichnis

Anlage	
Anlage 18.1a	Erläuterungsbericht
Anlage 18.2a	Lageplan Messorte Erschütterung
Anlage 18.3a	Darstellung der in Bremen gemessenen Emissionsspektren
Anlage 18.4a	Messort L1_1: Bremen, Heinrich-Plett-Allee 23
18.4.1a	Messort- und Messpunktbeschreibung
18.4.2a	Ergebnistabellen Messung Beweissicherung
18.4.3a	Berechnung Immissionsspektrum Prognose
18.4.4a	Tabellen Berechnung Beurteilungs-Schwingstärke und Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2.
Anlage 18.5a	Messort L1_2: Bremen, Am Sodenmatt 51a/51
18.5.1a	Messort- und Messpunktbeschreibung
18.5.2a	Ergebnistabellen Messung Beweissicherung
18.5.3a	Berechnung Immissionsspektrum Prognose
18.5.4a	Tabellen Berechnung Beurteilungs-Schwingstärke und Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2.
Anlage 18.6a	Messort L1_3: Bremen, Heinrich-Plett-Allee 48d
18.6.1a	Messort- und Messpunktbeschreibung
18.6.2a	Ergebnistabellen Messung Beweissicherung
18.6.3a	Berechnung Immissionsspektrum Prognose
18.6.4a	Tabellen Berechnung Beurteilungs-Schwingstärke und Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2.
Anlage 18.7a	Messort L1_4: Bremen, Middelburger Straße 12
18.7.1a	Messort- und Messpunktbeschreibung
18.7.2a	Ergebnistabellen Messung Beweissicherung
18.7.3a	Berechnung Immissionsspektrum Prognose
18.7.4a	Tabellen Berechnung Beurteilungs-Schwingstärke und Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2.

Anlage 18.8a	Messort L1_5: Bremen, Kirchhuchtinger Landstraße 86
18.8.1a	Messort- und Messpunktbeschreibung
18.8.2a	Ergebnistabellen Messung Beweissicherung
18.8.3a	Berechnung Immissionsspektrum Prognose
18.8.4a	Tabellen Berechnung Beurteilungs-Schwingstärke und Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2.
Anlage 18.9a	Messort L1_6: Bremen, Luneplate 45
18.9.1a	Messort- und Messpunktbeschreibung
18.9.2a	Ergebnistabellen Messung Beweissicherung
18.9.3a	Berechnung Immissionsspektrum Prognose
18.9.4a	Tabellen Berechnung Beurteilungs-Schwingstärke und Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2.
Anlage 18.10a	Messort L1_7: Bremen, Tegeler Plate 23 „Seniorenwohnheim“
18.10.1a	Messort- und Messpunktbeschreibung
18.10.2a	Ergebnistabellen Messung Beweissicherung
18.10.3a	Berechnung Immissionsspektrum Prognose
18.10.4a	Tabellen Berechnung Beurteilungs-Schwingstärke und Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2.
Anlage 18.11a	Messort L1_8: Bremen, Neuer Damm 69
18.11.1a	Messort- und Messpunktbeschreibung
18.11.2a	Ergebnistabellen Messung Beweissicherung
18.11.3a	Berechnung Immissionsspektrum Prognose
18.11.4a	Tabellen Berechnung Beurteilungs-Schwingstärke und Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2.
Anlage 18.12a	Messort L1_9: Bremen, Bredaer Straße 68
18.12.1a	Messort- und Messpunktbeschreibung
18.12.2a	Ergebnistabellen Messung Beweissicherung
18.12.3a	Berechnung Immissionsspektrum Prognose
18.12.4a	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

Im Zusammenhang mit der geplanten Verlängerung bzw. Neubau der Straßenbahnlinie 1 von der vorhandenen Wendeschleife „Rolandcenter“ bis Mittelshuchting in Bremen (geplante neue Endwendeschleife und Endhaltestelle der Linie 1 Brüsseler Straße) soll die zu erwartende Erschütterungssituation durch den Straßenbahnverkehr beiderseits der geplanten Trasse ermittelt und beurteilt 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 durchgeführt und auf Grundlage der DIN 4150, Teil 2 „Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“ beurteilt.

In Folge der geplanten Maßnahmen ergeben sich teilweise auch Änderungen der bestehenden Straßenquerschnitte mit der Folge, dass der Abstand zur vorhandenen Bebauung geringer wird und damit eventuell höhere Erschütterungen aus dem Schwerlastverkehr zu erwarten sind. Im Zuge der durchgeführten Erschütterungsmessungen wurden auch die Erschütterungen aus dem Straßenverkehr er-

mittelt, um für den zukünftigen Zustand Aussagen herleiten zu können.

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

In einem Teilbereich verläuft die geplante Straßenbahntrasse auf der vorhandenen Eisenbahntrasse der BTE. 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 gemäß der DIN 4150, Teil 2 als Vorbelastung in der Beurteilung mit der Folge berücksichtigt werden, dass die Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2 bei der Beurteilung nicht anzusetzen 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 ergeben sich für den Eisenbahnverkehr der BTE zukünftig geringere Erschütterungen.

3. Örtliche Verhältnisse

Erläuterungen zu diesem Abschnitt sind der **schalltechnischen Untersuchung zu diesem Projekt der Anlage 17a (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 17a 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 Straßenbahnbaureihe GT8N1;
- Aktuelle Bebauungspläne des Landes Bremen;
- Lagepläne, Querprofile zur Durchführung der Emissionsmessungen.

Für die Verlängerung der Linie 1 sind drei 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).
- Schotteroberbau (im Bereich der BTE-Trasse)

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

In Bereichen mit gemeinsamer Fahrbahn von Straßenverkehr und Straßenbahn ist eine Geschwindigkeit von maximal $v = 50 \text{ km/h}$ vorgesehen. Diese Geschwindigkeit wird bei der Prognoseberechnung berücksichtigt. In den Bereichen Heinrich - Plett - Allee und Willakedamm mit eigenem Bahnkörper ist eine Geschwindigkeit von maximal 60 km/h vorgesehen. Im Bereich der BTE-Trasse ist für die Straßenbahn eine maximale Geschwindigkeit von 70 km/h vorgesehen.

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 unterschiedliche 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. L1_1: Bremen, Heinrich-Plett-Allee 23**
- 2. L1_2: Bremen, Am Sodenmatt 51a/51**
- 3. L1_3: Bremen, Heinrich-Plett-Allee 48d**
- 4. L1_4: Bremen, Middelburger Straße 12**
- 5. L1_5: Bremen, Kirchhuchtinger Landtstraße 86**
- 6. L1_6: Bremen, Luneplate 45**
- 7. L1_7: Bremen, Tegeler Plate 23 (Seniorenwohnheim, Neubauteil)**
- 8. L1_8: Bremen, Neuer Damm 69**
- 9. L1_9: Bremen, Bredaer Straße 68**

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

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 muss darauf hingewiesen werden, 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 $KB = 0.2$.

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 letzt-

genannten 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 A/B 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, sofern es die örtlichen Verhältnisse zulassen, 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.

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 Übertragungsfunktionen Gelände- auf Immissionsmesspunkte wurden als Mittelwerte im Terzbereich aus den gemessenen Zeitsignalen berechnet.

8.4 Ergebnisse der Erschütterungsmessungen

Die Ergebnisse der Erschütterungsmessungen sind für die untersuchten Messorte und Ereignisklassen in den Tabellen der Anlagen 18.4-12.2a dargestellt. In den Tabellen sind für die Messpunkte im Einzelnen aufgeführt:

- der KB_{Fmax} – Wert des gemessenen Ereignisses;
- 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 ;
- die minimalen und maximalen Werte KB_{Fmax} der Ereignisklasse.

9. Zusammenstellung der Messergebnisse

In den Ergebnistabellen der Anlagen 18.(4-12).2a sind die im vorstehenden Abschnitt beschriebenen Messergebnisse aufgeführt.

In den im Text folgenden Tabellen werden für die Ergebnisse der Erschütterungsmessungen aus der Beweissicherung (hier überwiegend Erschütterungen aus Schwerlast- bzw. Busverkehr) angegeben:

- der höchste Wert der maximalen bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} , 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) bzw. der nächstgelegenen Fahrspur (Mitte) für den heutigen (Ist) und den geplanten Zustand.

Tabelle 2:

Messergebnisse der Beweissicherung für Messort L1_1

Bremen, Heinrich – Plett – Allee 23,

Gebietsausweisung: W

Deckenaufbau: MP2z

Ergebnistabellen siehe Anlage

Messortbeschreibung siehe Anlage

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung Straßenbahn 25 m

Entfernung Messort – Mitte nächstgel. Fahrspur ist ca. 18 m

Entfernung Messort – Mitte nächstgel. Fahrspur geplant ca. 18 m

Betondecke

18.4.2a

18.4.1a

Messpunkt	MP1z	MP1y	MP1x	MP2z 1.OG	Mittel aus MP A/B
KB_{Fmax}	0.04	0.01	0.01	0.11	0.05
Maximalwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$	0.03	0.01	0.01	0.08	0.05

Tabelle 3:

Messergebnisse der Beweissicherung für Messort L1_2

Bremen, Am Sodenmatt 51a/51,

Gebietsausweisung: W

Deckenaufbau: MP2z

Betondecke

Deckenaufbau: MP3z

Holzbalkendecke

Ergebnistabellen siehe Anlage

18.5.2a

Messortbeschreibung siehe Anlage

18.5.1a

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung Straßenbahn

22 m

Entfernung Messort – Mitte nächstgel. Fahrspur ist

ca. 18 m

Entfernung Messort – Mitte nächstgel. Fahrspur geplant

ca. 13 m

Messpunkt	MP1z	MP1y	MP1x	MP2z EG	MP3z 1.OG	Mittel aus MP A/B
KB_{Fmax}	0.06	0.06	0.06	0.24	0.27	0.14
Maximalwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$	0.05	0.05	0.04	0.20	0.23	0.11

Tabelle 4:

Messergebnisse der Beweissicherung für Messort L1_3

Bremen, Heinrich – Plett – Allee 48d,

Gebietsausweisung: W

Deckenaufbau: MP2z

Betondecke

Deckenaufbau: MP3z

Leichtbaudecke ?

Ergebnistabellen siehe Anlage

18.6.2a

Messortbeschreibung siehe Anlage

18.6.1a

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung Straßenbahn

18 m

Entfernung Messort – Mitte nächstgel. Fahrspur ist

ca.10 m

Entfernung Messort – Mitte nächstgel. Fahrspur geplant

ca. 8 m

Messpunkt	MP1z	MP1y	MP1x	MP2z EG	MP3z DG	Mittel aus MP A/B
KB_{Fmax}	0.09	0.03	0.03	0.06	0.10	0.12
Maximalwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$	0.05	0.02	0.01	0.04	0.06	0.08

Tabelle 5:

Messergebnisse der Beweissicherung für Messort L1_4

Bremen, Middelburger Straße 12,

Gebietsausweisung: W

Deckenaufbau: MP2z

Betondecke

Deckenaufbau: MP3z

Betondecke

Ergebnistabellen siehe Anlage

18.7.2a

Messortbeschreibung siehe Anlage

18.7.1a

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung Straßenbahn

33 m

Entfernung Messort – Mitte nächstgel. Fahrspur ist

ca.29 m

Entfernung Messort – Mitte nächstgel. Fahrspur geplant

ca. 27 m

Messpunkt	MP1z	MP1y	MP1x	MP2z EG	MP3z 3.OG	Mittel aus MP A/B
KB_{Fmax}	0.04	0.02	0.01	0.04	0.08	0.13
Maximalwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$	0.03	0.02	0.01	0.03	0.06	0.09

Tabelle 6:

Messergebnisse der Beweissicherung für Messort L1_5

Bremen, Kirchuchtinger Landstraße 86,

Gebietsausweisung: MI

Deckenaufbau: MP2z

Betondecke

Deckenaufbau: MP3z

Holzbalkendecke

Ergebnistabellen siehe Anlage

18.8.2a

Messortbeschreibung siehe Anlage

18.8.1a

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung Straßenbahn

13 m

Entfernung Messort – Mitte nächstgel. Fahrspur ist ca. 5 m

Entfernung Messort – Mitte nächstgel. Fahrspur geplant ca. 5 m

Messpunkt	MP1z	MP1y	MP1x	MP2z EG	MP3z 1.OG	Mittel aus MP A/B
KB_{Fmax}	0.26	0.14	0.29	0.18	0.49	0.42
Maximalwert $<KB_{Fmax}>$	0.20	0.11	0.20	0.13	0.31	0.26

Tabelle 7:

Messergebnisse der Beweissicherung für Messort L1_6

Bremen, Luneplate 45,

Gebietsausweisung: WA

Deckenaufbau: MP2z

Betondecke

Deckenaufbau: MP3z

Betondecke

Ergebnistabellen siehe Anlage

18.9.2a

Messortbeschreibung siehe Anlage

18.9.1a

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung Straßenbahn 9 m

Entfernung Messort – Mitte nächstgel. Fahrspur ist ca. 16 m

Entfernung Messort – Mitte nächstgel. Fahrspur geplant ca. 16 m

Messpunkt	MP1z	MP1y	MP1x	MP2z EG	MP3z 1.OG	Mittel aus MP A/B
KB_{Fmax}	0.03	0.01	0.02	0.03	0.04	0.03
Maximalwert $<KB_{Fmax}>$	0.03	0.01	0.02	0.03	0.04	0.03

Tabelle 8:

Messergebnisse der Beweissicherung für Messort L1_7

Bremen, Tegeler Plate 23

Gebietsausweisung: Sondergebiet

Deckenaufbau: MP2z

Betondecke

Deckenaufbau: MP3z

Betondecke

Ergebnistabellen siehe Anlage

18.10.2a

Messortbeschreibung siehe Anlage

18.10.1a

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung Straßenbahn 16 m

Entfernung Messort – Gleis BTE-Trasse ist ca. 9 m

Entfernung Messort – Gleis BTE-Trasse geplant ca. 16 m

Messpunkt	MP1z	MP1y	MP1x	MP2z EG	MP3z 1.OG	Mittel aus MP A/B
KB_{Fmax}	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03
Maximalwert $<KB_{Fmax}>$	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02

Tabelle 9:

Messergebnisse der Beweissicherung für Messort L1_8

Bremen, Neuer Damm 69,

Gebietsausweisung: WA

Deckenaufbau: MP2z

Betondecke

Deckenaufbau: MP3z

Betondecke

Ergebnistabellen siehe Anlage

18.11.2a

Messortbeschreibung siehe Anlage

18.11.1a

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung Straßenbahn

10 m

Entfernung Messort – Gleis BTE-Trasse ist

ca.14 m

Entfernung Messort – Gleis BTE-Trasse geplant

ca. 10 m

Messpunkt	MP1z	MP1y	MP1x	MP2z EG	MP3z 1.OG	Mittel aus MP A/B
KB_{Fmax}	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01
Maximalwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Tabelle 10:

Messergebnisse der Beweissicherung für Messort L1_9

Bremen, Bredaer Straße 68,

Gebietsausweisung: WA

Deckenaufbau: MP2z

Betondecke

Deckenaufbau: MP3z

Betondecke

Deckenaufbau: MP4z

Holzbalkendecke

Ergebnistabellen siehe Anlage

18.12.2a

Messortbeschreibung siehe Anlage

18.12.1a

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung Straßenbahn

8.5 m

Entfernung Messort – Gleis BTE-Trasse ist

ca. 8 m

Entfernung Messort – Gleis BTE-Trasse geplant

ca. 8.5 m

Messpunkt	MP1z EG	MP1y EG	MP1x EG	MP2z 1.OG	MP2z DG	Mittel aus MP A/B
KB_{Fmax}	0.01	0.01	0.01	0.02	0.07	0.02
Maximalwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05	0.01

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 Gebäudefundament
- d. Übergang der Erschütterungen vom Gebäudefundament 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 A/B und dem entsprechenden Messwert des vertikalen Immissionsmesspunktes MP2 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 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 dargestellt.

Durch Addition der beiden 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.(4-12).3a 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:

- 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“.

Für den Bereich der 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 L1_6 liegt im Bereich einer Weichenanlage. Da in diesen Bereichen 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.

Die aus den Messungen als energetischer Mittelwert über die Vorbeifahrten ermittelten Emissionsspektren, die bei den Prognoseberechnungen zugrunde gelegt wurden, sind in der Anlage 18.3a dargestellt. Zusätzlich sind die bei der jeweiligen Prognoseberechnung zugrunde gelegten Emissionsspektren in den Anlagen 18.(4-12).3a 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 beruht, wird für die Prognose nur der mittlere Maximalwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$ berechnet.

Abhängig von der Lage der Messorte im Bereich der Trasse sind betriebsbedingt (Überfahrt von Weichen, Abbremsen vor Kurven etc.) Geschwindigkeiten nach Streckenfahrplan vorgesehen, die nicht den Entwurfsgeschwindigkeiten von 50 km/h, 60 km/h und 70 km/h entsprechen. Im Gegensatz zur schalltechnischen

Untersuchung werden für die Prognoseberechnung hier nur die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten nach Streckenfahrplan für den Bereich des untersuchten Messortes berücksichtigt. Bei der schalltechnischen Untersuchung werden durch die alleinige Berücksichtigung der Entwurfsgeschwindigkeiten andere schalltechnische Einflüsse wie z.B. Bremsgeräusche, Lautsprecherdurchsagen an Haltestellen u.s.w. mit berücksichtigt. Da bei Erschütterungen derartige Einflüsse keine Rolle spielen, wäre der Ansatz der tatsächlichen Streckengeschwindigkeit damit im Gegensatz zu der Vorgehensweise bei der schalltechnischen Untersuchung gerechtfertigt. Hier werden jedoch aus Gründen der Prognosesicherheit keine entsprechenden Korrekturen vorgenommen.

10.1 Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke

Bei Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT} 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_{FT} in den Anlagen für den Zustand nach Ausführung der Maßnahmen zu entnehmen.

Die Angaben zum Betriebsprogramm wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt.

Für den Bereich ab Ausfädelung aus der BTE-Trasse ist für die Streckenführung auf der Heinrich – Plett - Allee bis zum Endpunkt von folgenden Zugzahlen für beide Richtungen auszugehen:

Tag = 166 Züge / Nacht = 24 Züge

Für den Bereich Roland Center bis Ausfädelung aus der BTE-Trasse sind zwei Fälle zu betrachten. Im ersten Fall werden die Zugzahlen betrachtet die nur die Planung zur Verlängerung der Linie 1 berücksichtigen. Im zweiten Fall werden auch die zusätzlichen Zugfahrten berücksichtigt, die sich bei einer geplanten Weiterführung der Linie 8 auf der BTE-Trasse ergeben würden. Der oben genannte Bereich würde in diesem Fall von den Linien 1 und 8 befahren werden. Für diesen Fall ist von folgenden Zugzahlen für beide Richtungen auszugehen:

Tag = 262 Züge / Nacht = 32 Züge

Für den Untersuchungsbereich ist ein ausschließlicher Betrieb mit der Baureihe GT8N1 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.(4-12).4a 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_{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.

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.

Für die Messorte die auch von den Planungen zur Linie 8 berührt werden wird die Beurteilungsschwingstärke für beide Fälle, d.h. nur Linie 1 bzw. Linie 1 und Linie 8 berechnet:

Tabelle 11:

Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort L1_1

Bremen, Heinrich – Plett – Allee 23,

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

18.4.2a

Spektrale Schwingschnellepegel zur Prognoseberechnung s. Anlage

18.4.3a

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung

25 m

Vorgesehene Geschwindigkeit Straßenbahn

60 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, 2.OG	0.10	Keine Berechnung $\langle KB_{Fmax} \rangle \leq A_u$	ja	Keine Berechnung $\langle KB_{Fmax} \rangle \leq A_u$	ja

Tabelle 12:

Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort L1_2

Bremen, Am Sodenmatt 51a/51,

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

18.5.2a

Spektrale Schwingschnellepegel zur Prognoseberechnung s. Anlage

18.5.3a

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung

22 m

Vorgesehene Geschwindigkeit Straßenbahn

60 km/h

Messpunkt	Maximalwert <KB _{Fmax} > A _u (Tag/Nacht) = 0.225 / 0.15	KBF _{Tr} (Tag)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.105	KBF _{Tr} (Nacht)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.075
MP2z, EG	0.25	0.074	ja	0.040	ja
MP3z, 1.OG	0.20	0.059	ja	0.032	ja

Tabelle 13:

Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort L1_3

Bremen, Heinrich – Plett – Allee 48 d,

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

18.6.2a

Spektrale Schwingschnellepegel zur Prognoseberechnung s. Anlage

18.6.3a

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung

18 m

Vorgesehene Geschwindigkeit Straßenbahn

60 km/h

Messpunkt	Maximalwert <KB _{Fmax} > A _u (Tag/Nacht) = 0.225 / 0.15	KBF _{Tr} (Tag)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.105	KBF _{Tr} (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	0.18	0.053	ja	0.028	ja

Tabelle 14:

Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort L1_4

Bremen, Middelburger Straße 12,

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

18.7.2a

Spektrale Schwingschnellepegel zur Prognoseberechnung s. Anlage

18.7.3a

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung

33 m

Vorgesehene Geschwindigkeit Straßenbahn

60 km/h

Messpunkt	Maximalwert <KB _{Fmax} > A _u (Tag/Nacht) = 0.225 / 0.15	KBF _{Tr} (Tag)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.105	KBF _{Tr} (Nacht)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.075
MP2z, EG	0.16	0.047	ja	0.025	ja
MP3z, 1.OG	0.09	Keine Berechnung <KB _{Fmax} > ≤ A _u	ja	Keine Berechnung <KB _{Fmax} > ≤ A _u	ja

Tabelle 15:

Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort L1_5

Bremen, Kirchhuchtinger Landstraße 86,

Gebietsausweisung: MI nach Zeile 3 von Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 zu beurteilen,

Anhaltswerte für ÖPNV um den Faktor 1,5 höher.

Ergebnistabellen Beweissicherung siehe Anlage

18.8.2a

Spektrale Schwingschnellepegel zur Prognoseberechnung s. Anlage

18.8.3a

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung

13 m

Vorgesehene Geschwindigkeit Straßenbahn

50 km/h

Messpunkt	Maximalwert <KB _{Fmax} > A _u (Tag/Nacht) = 0.225 / 0.15	KBF _{Tr} (Tag)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.105	KBF _{Tr} (Nacht)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.075
Beurteilungsschwingstärke nur Linie 1					
MP2z, EG	0.05	Keine Berechnung <KB _{Fmax} > ≤ A _u	ja	Keine Berechnung <KB _{Fmax} > ≤ A _u	ja
MP3z, 1.OG	0.11	Keine Berechnung <KB _{Fmax} > ≤ A _u	ja	Keine Berechnung <KB _{Fmax} > ≤ A _u	ja
Beurteilungsschwingstärke mit Linie 1 und 8					
MP2z, EG	0.05	Keine Berechnung <KB _{Fmax} > ≤ A _u	ja	Keine Berechnung <KB _{Fmax} > ≤ A _u	ja
MP3z, 1.OG	0.11	Keine Berechnung <KB _{Fmax} > ≤ A _u	ja	Keine Berechnung <KB _{Fmax} > ≤ A _u	ja

Tabelle 16:

Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort L1_6

Bremen, Luneplate 45,

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

18.9.2a

Spektrale Schwingschnellepegel zur Prognoseberechnung s. Anlage

18.9.3a

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung

9 m

Vorgesehene Geschwindigkeit Straßenbahn

60 km/h

Messpunkt	Maximalwert <KBF _{Fmax} > A _u (Tag/Nacht) = 0.225 / 0.15	KBF _{Tr} (Tag)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.105	KBF _{Tr} (Nacht)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.075
Beurteilungsschwingstärke nur Linie 1					
MP2z, EG	0.22	0.065	Ja	0.035	ja
MP3z, 1.OG	0.27	0.079	ja	0.043	ja
Beurteilungsschwingstärke mit Linie 1 und 8					
MP2z, EG	0.22	0.081	ja	0.040	ja
MP3z, 1.OG	0.27	0.100	ja	0.049	ja

Tabelle 17:

Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort L1_7

Bremen, Tegeler Plate 23,

Gebietsausweisung: Sondergebiet nach Zeile 5 von Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 zu beurteilen,

Anhaltswerte für ÖPNV um den Faktor 1,5 höher.

Ergebnistabellen Beweissicherung siehe Anlage

18.10.2a

Spektrale Schwingschnellepegel zur Prognoseberechnung s. Anlage

18.10.3a

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung

16 m

Vorgesehene Geschwindigkeit Straßenbahn

70 km/h

Messpunkt	Maximalwert <KBF _{Fmax} > A _u (Tag/Nacht) = 0.15 / 0.15	KBF _{Tr} (Tag)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.075	KBF _{Tr} (Nacht)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.075
Beurteilungsschwingstärke nur Linie 1					
MP2z, EG	0.21	0.062	ja	0.033	ja
MP3z, 1.OG	0.29	0.085	ja	0.046	ja
Beurteilungsschwingstärke mit Linie 1 und 8					
MP2z, EG	0.21	0.078	ja	0.038	ja
MP3z, 1.OG	0.29	0.103	ja	0.051	ja

Tabelle 18:

Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort L1_8

Bremen, Neuer Damm 69,

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

18.11.2a

Spektrale Schwingschnellepegel zur Prognoseberechnung s. Anlage

18.11.3a

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung

10 m

Vorgesehene Geschwindigkeit Straßenbahn

70 km/h

Messpunkt	Maximalwert <KB _{Fmax} > A _u (Tag/Nacht) = 0.225 / 0.15	KBF _{Tr} (Tag)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.105	KBF _{Tr} (Nacht)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.075
Beurteilungsschwingstärke nur Linie 1					
MP2z, EG	0.23	0.068	ja	0.036	ja
MP3z, 1.OG	0.32	0.094	ja	0.051	ja
Beurteilungsschwingstärke mit Linie 1 und 8					
MP2z, EG	0.21	0.085	ja	0.042	ja
MP3z, 1.OG	0.32	0.118	ja*	0.058	ja

) Für diesen Fall werden die Anforderung der DIN 4150, Teil 2 für den Tageszeitraum nur geringfügig überschritten. Da diese Überschreitung mit 12 % im Rahmen der Messgenauigkeit von 15 % liegt werden die Anforderungen der Norm eingehalten.

Tabelle 19:

Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort L1_9

Bremen, Bredaer Straße 68,

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

18.12.2a

Spektrale Schwingschnellepegel zur Prognoseberechnung s. Anlage

18.12.3a

Entfernung Messort – Gleis 1 geplante Trassierung

8.5 m

Vorgesehene Geschwindigkeit Straßenbahn

70 km/h

Messpunkt	Maximalwert <KB _{Fmax} > A _u (Tag/Nacht) = 0.225 / 0.15	KBF _{Tr} (Tag)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.105	KBF _{Tr} (Nacht)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.075
Beurteilungsschwingstärke nur Linie 1					
MP2z, EG	0.12	Keine Berechnung <KB _{Fmax} > ≤ A _u	ja	Keine Berechnung <KB _{Fmax} > ≤ A _u	ja
MP3z, 1.OG	0.33	0.097	ja	0.052	ja
MP4z, DG	0.34	0.100	ja	0.054	ja
Beurteilungsschwingstärke mit Linie 1 und 8					
MP2z, EG	0.12	Keine Berechnung <KB _{Fmax} > ≤ A _u	ja	Keine Berechnung <KB _{Fmax} > ≤ A _u	ja
MP3z, 1.OG	0.34	0.122	nein	0.060	ja
MP4z, DG	0.34	0.126	nein	0.062	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 Mehrzahl der Messorte und Messpunkte bis auf eine Ausnahme eingehalten werden und auch für die weitere Bebauung keine andere Beurteilung zu erwarten ist, sind keine vorsorgenden erschütterungsmindernden Maßnahmen im Bereich des Oberbaus notwendig bzw. gerechtfertigt.
4. Die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 werden für das Gebäude „Bredaer Straße 68“ (Messort L1_9) nicht erfüllt. Eine Überschreitung der Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2 ist für das genannte Gebäude möglicherweise im Bereich des 1.OG und des Dachgeschosses zu erwarten. Damit wird für dieses Gebäude möglicherweise eine Betroffenheit ausgelöst. Ursächlich sind hier die schwingungstechnischen Eigenschaften des Gebäudes mit hohen Verstärkungsfaktoren der betroffenen Geschossdecken im 1.OG und DG. Aufgrund der Tatsache, dass die Trasse in dem Bereich auch von Güterzügen befahren werden, können straßenbahntypische Oberbausystem zur Reduzierung der Erschütterungen hier keine Anwendung finden, da diese nicht für die bei Güterzügen typischen Achslasten ausgelegt sind. So könnte z.B.

durch einen Oberbau mit Betontragplatte und kontinuierlicher Schienenlagerung eine Reduzierung der Werte erreicht werden, dieser Oberbau kann hier auf Grund der Güterzugüberfahrten nicht eingesetzt werden

5. Eine Reduzierung der Erschütterungen aus dem Betrieb der Straßenbahn auf Werte, bei denen die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 eingehalten werden, kann für das möglicherweise betroffene Gebäudes „Bredaer Straße 68“ (Messort L1_9) über eine Versteifung Geschossdecken erreicht werden. Die Maßnahme sollte dabei aber nur für Räume ausgeführt werden, die ausschließlich Wohnzwecke dienen, und in denen die tatsächliche Betroffenheit durch Messungen nach Inbetriebnahme nachgewiesen wird.
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 eine wesentliche Überschreitung 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. Gesetzliche Grundlage für eventuelle Schutzansprüche ist dabei das VwVfG § 73, Absatz 2, nachdem der Vorhabenträger entsprechende Vorkehrungen zur Vermeidung nachteiliger Auswirkungen vorzusehen hat. Diese Situation wäre hier bei Überschreitung der Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2 gegeben.
8. Die vorliegende 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.

9. 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.
10. Schäden an Gebäuden oder Sachgütern durch Erschütterungen aus dem Betrieb der Straßenbahn können anhand der prognostizierten Werte mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

11. Die für den Schwerlastverkehr im Rahmen der Messungen ermittelten Werte liegen in einem Bereich, bei dem auch unter Berücksichtigung der Verringerung des zukünftigen Abstandes der Messorte zur Straße mit Sicherheit keine Überschreitung der Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2 zu erwarten sind.

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

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 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