



MESSPROTOKOLL NR. 451

**Erschütterungsimmissionen
durch Schienenverkehr im Mittel-
rheintal an der linksrheinischen
Bahnstrecke im Ortsbereich
56 154 Boppard**

Erschütterungsimmissionen durch Schienenverkehr im Mittelrheintal an der linksrheinischen Bahnstrecke im Ortsbereich

56 154 Boppard

Bearbeitung:

Manfred Bos

Abteilung: Messinstitut, Zentrallabor

Messprotokoll Nr. 451

Mainz, Juni 2011

IMPRESSUM

Herausgeber: Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft
und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz
Kaiser-Friedrich-Straße 7
55116 Mainz

© 2011

INHALTSVERZEICHNIS

1	Auftragsdaten und Messtermine	5
2	Aufgabenstellung	6
3	Immissionsort	7
4	Durchführung der Messung	8
5	Messgeräte	9
6	Messergebnisse	10
7	Beurteilung	12
7.1	Beurteilung nach DIN 4150 Teil 3	12
7.2	Beurteilung nach DIN 4150 Teil 2	13
7.3	Fazit der Untersuchung	16

Anlagen: 2 typische Schwingungsverläufe

1 AUFTRAGSDATEN UND MESSTERMINE

Auftraggeber:	Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten Kaiser-Friedrich-Straße 1 55116 Mainz
Auftrag vom:	19.04.2011, Az.: 106-83 310-3/2011-4#16 Referat 1062
Tag der Messung:	15.06. – 16.06.2011
Messzeitraum:	22:00 – 6:00 Uhr
Durchführung der Messung und Bearbeitung:	TAng. Manfred Bos Abt. 6, Ref. 64: Lärm und Erschütterungen

2 AUFGABENSTELLUNG

Auf Grund von Beschwerden mehrerer Bürgerinitiativen und Einzelpersonen über Erschütterungsimmissionen durch die Bahnstrecken im Mittelrheintal fand am 14.04.2011 ein Gespräch im Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten statt.

Als Ergebnis dieses Gespräches wurde die Beauftragung von Erschütterungsmessungen an der Bahnstrecke im Mittelrheintal vereinbart. Es sollten hier Messungen sowohl auf der rechtsrheinischen als auch auf der linksrheinischen Seite stattfinden. Die Messorte wurden in einer Prioritätenliste festgeschrieben.

Die Ergebnisse dieser Messungen sollten eine Aussage hinsichtlich Gebäudeschäden und der Belästigung der Anwohner zulassen. Als Grundlage dieser Messungen wurde die DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ in Ansatz gebracht.

Mit der Durchführung dieser Untersuchung wurde das Messinstitut des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz beauftragt.

3 IMMISSIONSORT

Messort: Wohnung von _____, 56154 Boppard

Der Messort befindet sich auf der linken Rheinseite. Die Entfernung zwischen der Außenwand des Wohngebäudes und der Mitte des ersten Gleises beträgt ca. 18 – 19 m. Zwischen dem Wohnhaus und dem Gleiskörper verläuft die Bundesstraße 9. Nach Angaben der Beschwerdeführer wurde das Haus um ____ errichtet.

Platzierung der Messwertgeber:

Raummitte in der Mitte des Wohnzimmers im 2. Obergeschoss
auf einem Parkett – Fußboden.

Raummitte in der Mitte der Küche im 2. Obergeschoss
auf einem Fliesenboden.

Beide Wohnräume befinden sich auf einer Holzbalkendecke, die sehr leicht anregbar ist.

4 DURCHFÜHRUNG DER MESSUNG

Die Messungen, die ohne Wissen des Betreibers der Bahnlinie durchgeführt wurden, erfolgten nach der DIN-Richtlinie 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“. Hierbei wurde der Teil 1 „Vorermittlungen von Schwingungsgrößen“ (Juni 2001), der Teil 2 „Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ (Juni 1999) und der Teil 3 „Einwirkungen auf bauliche Anlagen“ (Februar 1999) zur Anwendung gebracht.

Zur Erfassung der Gebäudeschwingungen wurde am o.g. Messort ein Schwingungsmesssystem aufgestellt, das mit zwei Messwertgebersystemen verbunden war.

Diese Messwertgebersysteme, d.h. diese Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer, wurden in den beiden am stärksten betroffenen Wohnräumen, dem Wohnzimmer und der Küche im 2. Obergeschoss, aufgestellt.

An den beiden Aufstellungsorten wurden die Schwingungen zeitgleich in zwei rechtwinklig zueinander stehenden horizontalen Messrichtungen (X und Y) und einer vertikalen Richtung (Z) erfasst.

Die Aufnehmersysteme waren hierbei so platziert, dass die horizontalen Geophone (Messsonden) parallel zu den Außenwänden ausgerichtet waren.

An dem Schwingungsmesssystem wurden die Messbereiche so gewählt, dass die zu erwartenden Schwingungen mit ausreichender Sicherheit erfasst werden konnten. Die einzelnen Messungen wurden über vordefinierte Triggerschwellen ausgelöst.

Vom Messort aus konnte man einen Teil der Bahnstrecke und der Bundesstraße 9 einsehen. Hierdurch konnte eine Zuordnung der einzelnen Messungen zu den Zugklassen, Personen-, Güterzüge und Schienenbusse, erfolgen. Auch konnte festgestellt werden, dass einzelne Lastkraftwagen Schwingungen verursachten, die die eingestellten Triggerbedingungen erfüllten und so einzelne Schwingungsaufzeichnungen hervorriefen. Diese nicht bahnverursachten Erschütterungen wurden trotzdem unter Nr.6 Messergebnisse) getrennt ausgewertet.

5 MESSGERÄTE

Zur Messung, Registrierung und Auswertung der Gebäudeschwingungen wurden folgenden Messgeräte und Aufnehmersysteme eingesetzt:

- Schwingungsmesssysteme
Fabrikat Marlen Beitzer, Messtechnik
Typ System 9000

- Schwinggeschwindigkeits-
aufnehmer (Messwertgeber)

Typ Geophon PE 6 B – triaxial

- Betriebssoftware System 9000 Ver. 30.12.2009

Das eingesetzte Schwingungsmesssystem entspricht laut Herstellerangabe der DIN 45669 „Messung von Schwingungsimmissionen“ Teil 1 „Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung“ (Juni 1995). Der Arbeitsfrequenzbereich war auf 1 – 80 Hz eingestellt.

6 MESSERGEBNISSE

In der Nacht vom 15.06. auf den 16.06.2011 wurden insgesamt 74 Schwingungsaufzeichnungen registriert. Diese Zugvorbeifahrten stellen Dauererschütterungen im Sinne der DIN 4150 dar. Dies ist beim Vergleich der Messwerte mit den Anhaltswerten zu berücksichtigen. Auslöser für die einzelnen Schwingungsaufzeichnungen waren 42 Güterzüge, 12 Personenzüge, 8 Schienenbusse bzw. Kurzzüge und 12 Lastkraftwagen. Die Dauer jeder Einzelmessung betrug ca. 40 Sekunden. Die Einwirkung der einzelnen Zugvorbeifahrten lag immer unter 30 sec, wodurch der Messwert KB_{Fmax} dem Messwert KB_{FTi} entspricht. Die Dauer der durch die Lastkraftwagen hervorgerufenen Schwingungen lag deutlich unter 10 Sekunden. Im Einzelnen wurden in den beiden Wohnräumen folgende Schwingungsmesswerte ermittelt:

Bereich der gemessenen Schwinggeschwindigkeit V_i in mm/s

	Wohnzimmer 2. OG			Küche 2.OG		
	X	Y	Z	X	Y	Z
42 Güterzüge	0,079	0,062	0,538	0,086	0,062	0,544
	–	–	–	–	–	–
12 Personen- züge	0,228	0,152	1,358	0,271	0,181	1,533
	0,067	0,059	0,439	0,062	0,050	0,525
8 Schienen- bus Kurzzüge	–	–	–	–	–	–
	0,210	0,140	1,250	0,179	0,156	1,686
Alle 62 Schienen- fahrzeuge	0,058	0,040	0,204	0,057	0,041	0,440
	–	–	–	–	–	–
	0,198	0,161	1,135	0,196	0,166	1,649
	0,058	0,040	0,204	0,057	0,041	0,440
	–	–	–	–	–	–
	0,228	0,161	1,358	0,271	0,181	1,686
Zulässige Anhaltswerte (Wohnräume)						
	5,0 mm/s	5,0 mm/s	10,0 mm/s	5,0 mm/s	5,0 mm/s	10,0 mm/s
12 LKW	0,055	0,043	0,548	0,036	0,031	0,522
	–	–	–	–	–	–
	0,106	0,090	0,922	0,125	0,112	1,100

Bereich der ermittelten Schwingstärken KB_{Fmax}

	Wohnzimmer 2. OG			Küche 2.OG		
	X	Y	Z	X	Y	Z
42 Güterzüge	0,030	0,024	0,257	0,030	0,021	0,260
	–	–	–	–	–	–
	0,093	0,070	0,621	0,098	0,075	0,879
12 Personen- züge	0,028	0,022	0,211	0,027	0,025	0,259
	–	–	–	–	–	–
	0,091	0,057	0,692	0,090	0,066	0,959
8 Schienen- bus Kurzzüge	0,030	0,016	0,107	0,025	0,017	0,236
	–	–	–	–	–	–
	0,084	0,066	0,590	0,080	0,073	0,866
Alle 62 Schienen- fahrzeuge	0,028	0,016	0,107	0,025	0,017	0,236
	–	–	–	–	–	–
	0,093	0,070	0,692	0,098	0,075	0,959
Taktmaximal – Effektivwert (Gl. 3 der DIN 4150 Teil 2)						
Alle Züge	KB_{FTm}	KB_{FTm}	KB_{FTm}	KB_{FTm}	KB_{FTm}	KB_{FTm}
	0,066	0,044	0,439	0,065	0,050	0,520
12 LKW	0,023	0,019	0,286	0,015	0,016	0,296
	–	–	–	–	–	–
	0,055	0,041	0,493	0,056	0,050	0,625
LKW	KB_{FTm}	KB_{FTm}	KB_{FTm}	KB_{FTm}	KB_{FTm}	KB_{FTm}
	0,033	0,028	0,397	0,038	0,035	0,465

Wie die Aufstellung der Schwingstärken KB_{Fmax} zeigt, wurden die stärksten Schwingungen in der vertikalen Raumrichtung ermittelt. Wie zu erkennen ist, wurden in der Küche die höchsten Messwerte festgestellt. Hier liegt der Taktmaximal-Effektivwert um 18,5% über dem des Wohnzimmers. Für die weitere Betrachtung der Schwingstärke werden die Messwerte dieses Raumes herangezogen.

7 BEURTEILUNG

Die DIN 4150 „Erschütterung im Bauwesen“ unterscheidet bei der Beurteilung von Erschütterungen nach der Einwirkung auf Bauwerke im Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen“ und der mittelbaren Einwirkung auf den Menschen im Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“. Für beide Beurteilungssachverhalte sind unterschiedliche Messgrößen maßgeblich. Darüber hinaus wird unterschieden, ob es sich um kurzzeitige Erschütterungen, wie z.B. um Sprengungen oder um Dauererschütterungen wie z.B. Sägegatter, Rammarbeiten oder ähnliches handelt. Die Erschütterungen, die durch die vorbeifahrenden Züge verursacht werden, sind u.E. ebenfalls der Kategorie der Dauererschütterungen zuzuordnen.

7.1 Beurteilung nach DIN 4150 Teil 3

Zur Beurteilung von Erschütterungen auf bauliche Anlagen wurden die Gebäudeschwingungen auf der Deckenebene des 2.OG, sowohl im Wohnzimmer als auch in der Küche, ermittelt. Wie die oben stehende Messwerttabelle zeigt, traten die stärksten Erschütterungen in der Küche der Wohnung von _____ auf. Diese Messwerte sind mit den Anhaltswerten der Tabelle 3 „Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit V_i zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Bauwerke“ zu vergleichen.

Für „Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten“ sind nach Zeile 2 dieser Tabelle und dem Punkt 6.2 folgende Anhaltswerte maßgeblich:

Oberste Deckenebene, horizontal, alle Frequenzen	5,0	mm/s
oberste Deckenebene, vertikal	10,0	mm/s

Vergleicht man den höchsten Messwert beider Wohnräume der horizontalen Messrichtungen „X und Y“ von 0,271 mm/s mit dem zulässigen Anhaltswert von 5,0 mm/s, so ist zu erkennen, dass dieser sehr deutlich eingehalten wird. Ebenso zeigt die Gegenüberstellung des Messwertes von max. 1,686 mm/s, der in vertikaler Richtung „Z“ ermittelt wurde, mit dem Anhaltswert von 10 mm/s, dass auch dieser nicht erreicht wurde. Schwingungen dieser Größenordnung sind für den Menschen jedoch deutlich spürbar.

In der DIN 4150 Teil 3 unter Punkt 6.1 Absatz 2 heißt es: „Werden die Anhaltswerte eingehalten, treten Schäden nach den bisherigen Erfahrungen nicht auf.“. Diese Aussage bezieht sich auf die Anhaltswerte der Tabelle 3. Das bedeutet, dass die Anforderung der Norm im Teil 3 eingehalten wird.

Messwerte LKW:

Die Angaben der durch den LKW – Verkehr verursachten Schwingungen dienen lediglich der Information. Sie sollen zeigen, dass auch diese Erschütterungsquelle spürbare Schwingungen in der Wohnung hervorruft. Die Messwerte liegen jedoch unter denen des Schienenverkehrs und stellen somit ebenfalls keine Gefährdung der Standsicherheit des Wohnhauses dar. (horizontal max. 0,125 mm/s, vertikal 1,10 mm/s).

7.2 Beurteilung nach DIN 4150 Teil 2

Für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden ist die bewertete Schwingstärke **KB** auf dem Fußboden des zu untersuchenden Raumes zu ermitteln. Dieser Messwert entspricht dem gleitenden Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals.

Im ersten Schritt werden die maximalen bewerteten Schwingstärken **KB_{Fmax}** der drei Raumrichtungen **X**, **Y** und **Z** ermittelt. Der größte dieser drei Werte ist mit den Anhaltswerten der Tabelle 1 zu vergleichen. Für oberirdische Schienenstrecken sind zudem die Besonderheiten des Punktes 6.5.3.5 zu beachten.

- Ist **KB_{Fmax}** kleiner oder gleich dem (unteren) Anhaltswert **A_u**, dann ist die Anforderung dieser Norm eingehalten.
- Ist **KB_{Fmax}** größer als der (untere) Anhaltswert **A_u**, dann ist bei Schienenverkehr die Bestimmung der Beurteilungs-Schwingstärke **KB_{FTr}** erforderlich. Ist **KB_{FTr}** kleiner als der Anhaltswert **A_r**, dann ist die Anforderung der Norm ebenfalls eingehalten.

- Ist KB_{Fmax} zur Nachtzeit größer als der gebietsunabhängige (obere) Anhaltswert A_o von 0,6 gemäß Punkt 6.5.3.5, so ist nach der Ursache bei den entsprechenden Zugeinheiten zu forschen. Für die Bestimmung der Beurteilungs-Schwingstärke sind diese hohen Messwerte jedoch zu berücksichtigen.

Nach Zeile 3 der Tabelle 1 gelten nachts für Einwirkungsorte, in denen weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete BauNVO, § 7, Mischgebiete BauNVO, § 6, Dorfgebiete BauNVO, §5), folgende Anhaltswerte:

$$A_u = 0,15$$

$$A_o = 0,3$$

$$A_r = 0,07.$$

Der obere Anhaltswert für die Nachtzeit beträgt hier jedoch nach den Besonderheiten für oberirdischen Schienenverkehr $A_o = 0,6$. Die Norm geht hier davon aus, dass nachts lediglich einzelne KB_{FTi} – Werte diesen Anhaltswert überschreiten. Die Auswertung der Messdaten zeigte, dass dieser obere Anhaltswert im vorliegenden Fall 18 Mal in der vertikalen Raumrichtung (von 62 Zugereignissen) überschritten wurde.

Wie bereits oben festgestellt, wurden die höchsten Schwingstärken in der vertikalen Ebene festgestellt. Vergleicht man die Messwerte dieser Schwingungsrichtung mit dem unteren Anhaltswert A_u von 0,15, so ist festzustellen, dass die gemessenen Schwingstärken diesen Anhaltswert ausnahmslos überschreiten.

Für diesen Fall sieht die DIN die Bestimmung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} vor. Zunächst wird der gemessene Verlauf der KB – Werte in Takte von jeweils 30 sec unterteilt und der hierin enthaltene Maximalwert als Stichprobe KB_{FTi} entnommen. Da die Dauer der 62 einzelnen Zugvorbeifahrten unter 30 sec lag, entspricht der Messwert KB_{Fmax} dem Messwert KB_{FTi} . Aus diesen Messwerten wird der Taktmaximal-Effektivwert KB_{FTm} unter Berücksichtigung einer 15%igen Messunsicherheit (DIN 4150 Teil 2 Punkt 5.4 Abs.3) nach folgender Gleichung zu bestimmen:

$$KB_{FTm} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N KB_{FTi}^2}$$

Der Faktor **N** entspricht der Anzahl der berücksichtigten Takte.
Aus dieser Formel ergibt sich ein Taktmaximal-Effektivwert von:

$$\mathbf{KB_{FTm} = 0,442 ,}$$

wenn die oben erwähnte Messunsicherheit von 15 % zugunsten des Verursachers abgezogen wird.

Nach der Bestimmung des Taktmaximal-Effektivwertes **KB_{FTm}** wird die Beurteilungs-Schwingstärke unter Berücksichtigung der Einwirkdauer und der Tageszeit des Auftretens nach folgender Gleichung errechnet:

$$KB_{FTr} = KB_{FTm} \sqrt{\frac{T_e}{T_r}}$$

dabei bedeutet:

- T_e - Einwirkdauer der Schwingungen
- T_r - Bezugszeitraum nachts acht Stunden

Nach dieser Gleichung errechnet sich unter Zugrundelegung der o. g. Bedingungen eine Beurteilungs-Schwingstärke von

$$\mathbf{KB_{FTr} = 0,112}$$

für den nächtlichen Schienenverkehr.

Vergleicht man diese Beurteilungs-Schwingstärke **KB_{FTr}** von 0,112 mit dem zulässigen Anhaltswert A_r von 0,07, so ist zu erkennen, dass dieser deutlich überschritten wird. Das bedeutet, dass der Teil 2 der DIN 4150 nicht eingehalten wird.

Messwerte LKW:

Auf die Bestimmung der Beurteilungsschwingstärke wurde verzichtet, da der LKW – Verkehr nicht Gegenstand des Messauftrages war. Es ist jedoch festzustellen, dass alle 12 Messwerte KB_{Fmax} über dem zulässigen unteren Anhaltswert lagen. Der zulässige obere Anhaltswert von $A_o = 0,3$ (keine Schienenfahrzeuge) wurde am Aufstellungsort, Küche, 11 Mal überschritten.

7.3 Fazit der Untersuchung

Wie aus den oben stehenden Messwerten abzulesen ist, sind Schäden bzw. eine Beeinträchtigung die Standsicherheit des Wohnhauses, in dem sich die Wohnung von _____ in Boppard befindet, die auf die Zugvorbeifahrten zurückzuführen wären, nach der DIN 4150 Teil 3 nicht zu erwarten. Dies gilt auch für die aufgezeichneten 12 LKW – Vorbeifahrten auf der Bundesstraße 9.

In Bezug auf die Belästigung der Nachbarschaft muss jedoch festgestellt werden, dass die zulässigen Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2, auch unter Berücksichtigung der besonderen Bedingungen für oberirdischen Schienenverkehr, deutlich überschritten wurden. Die Überschreitung liegt mindestens in dieser Höhe vor, da bei der Berechnung der Beurteilungsschwingstärke die mögliche Messunsicherheit von 15% abgezogen wurde, was eine Beurteilung zu Gunsten des Betreibers bedeutet.

Wie unter Punkt 6.5.3.5 zu lesen ist, soll bei einzelnen Überschreitungen des oberen Anhaltswertes A_o von 0,6 durch die Messwerte KB_{FTi} zur Nachtzeit nach den Ursachen bei den entsprechenden Zugeinheiten geforscht werden. Dies kann u. E. nur durch den Betreiber erfolgen.

Im Auftrag

gez.

Manfred Bos

8 NACHTRAG

Zur Frage, wie der Immissionsort bauplanrechtlich einzustufen ist, wurden seitens des Auftraggebers keine Angaben gemacht. Ein Bebauungsplan existiert nicht. Unsere Einschätzung, die sich nach der vorhandenen tatsächlichen Bebauung richtete, führte zur Einstufung als Mischgebiet – MI.

Die rechtliche Vertretung der Anwohnerin hat mit dem Schriftsatz vom 25.07.2011 mitgeteilt, sie gehe von der Einstufung „Allgemeines Wohngebiet – WA“ aus. Deshalb soll nachfolgend dargestellt werden, welche Änderung sich, folgt man dieser Auffassung, ergeben würden.

Nach der Zeile 4 der Tabelle 1 gelten nachts für Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet §3 BauNVO, allgemeine Wohngebiete §4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete §2 BauNVO), folgende Anhaltswerte:

$$A_u = 0,1$$

$$A_o = 0,2$$

$$A_r = 0,05.$$

Der obere Anhaltswert für die Nachtzeit beträgt hier jedoch nach den Besonderheiten für oberirdischen Schienenverkehr gebietsunabhängig $A_o = 0,6$, bei dessen Überschreitung nach den Ursachen bei den entsprechenden Zugeinheiten geforscht werden soll.

Der Vergleich der Messwerte, die in der Küche der Wohnung von ████ _____ in der Schwingungsrichtung „Z“ ermittelt wurden, zeigt auch hier, dass der untere Anhaltswert von $A_u = 0,1$ durch die festgestellten Schwingstärken ausnahmslos überschritten wird. Hierdurch ist Bestimmung der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTF} erforderlich. Unter Berücksichtigung der Einwirkdauer und des nächtlichen Bezugszeitraumes von acht Stunden ergibt sich hier die gleiche Beurteilungsschwingstärke von:

$$KB_{FTF} = 0,112$$

für den nächtlichen Schienenverkehr, da die Berechnung gebietsunabhängig ist.

Der Vergleich dieser Beurteilungsschwingstärke von 0,112 mit dem für allgemeine Wohngebiete zulässigen Anhaltswert von $A_r = 0,05$ zeigt eine noch deutlichere Überschreitung. Das bedeutet, dass der Teil 2 der DIN 4150 nicht eingehalten wird.



