

# Erschütterungen des Eisenbahnverkehrs am Mittelrhein, Messungen in Wohnhäusern und Interviews mit Anwohnern

Frieder Kunz<sup>1</sup>, Nico Petry<sup>2</sup>

<sup>1</sup> TH Bingen, 55411 Bingen a. R., E-Mail: [frieder.kunz@th-bingen.de](mailto:frieder.kunz@th-bingen.de)

<sup>2</sup> E-Mail: [n.petry@th-bingen.de](mailto:n.petry@th-bingen.de)

## Einleitung

In einem von der Forschungsinitiative des Landes Rheinland-Pfalz geförderten Projekt der forschenden Lehre wurden von Studierenden Messungen und Befragungen in Wohnhäusern an den Eisenbahnstrecken des oberen Mittelrheintals, im Rheingau und in Rheinhessen durchgeführt. Für 34 Häuser liegen Messungen über den gesamten Nachtzeitraum und Befragungen der Bewohner vor. Ziel der Untersuchungen ist es, die Belastung mit Erschütterungen mit der Lärmbelastung zu vergleichen.

## Messungen und Fragebögen

Die Messungen wurden in Wohnräumen triaxial mit Geophonen durchgeführt und 16-kanalig als Rohdaten aufgezeichnet. Für die Befragungen stand der in der Cargovibes-Studie verwendete IC BEN-Fragebogen zur Verfügung[1]. In jeweils einem Wohnraum wurde bei geschlossenem Fenster auch das Innengeräusch aufgezeichnet.

Ausgewertet wurde immer eine Nacht von 22 h bis 6 h. Für jede Aufnehmerrichtung wurden Taktmaximalwerte nach den Vorgaben der DIN4150-2 und die Größen KBFmax, KBFTm und KBFT<sub>r</sub> bestimmt[2]. KBFmax bezeichnet die höchste Schwingstärke einer Einzelschwingung im Messzeitraum. KBFmax soll 0,6 mm/s nicht überschreiten. KBFTm mittelt nur die 30-Sekunden-Takte, die mit Zügen in Verbindung gebracht werden. KBFT<sub>r</sub> ist ein RMS-Wert über den gesamten Nachtzeitraum – der Anhaltswert für Mischgebiete nachts ist 0,07 (mm/s). Der KBFT<sub>r</sub>-Wert einzelner Nächte kann durch unterschiedliche Zuganzahlen schwanken. Daher wurde ein zweiter Wert KBFT<sub>r</sub>\* gebildet, der unterschiedliche Zuganzahlen und Takte einer Nacht korrigiert und sich auf die mittlere beobachtete Zuganzahl bezieht.

Weiterhin wurde pro Aufnehmerrichtung ein v<sub>max95</sub> genannter Wert bestimmt, der eine Schwelle angibt, unter der 95% der Erschütterungstakte liegen werden [3].

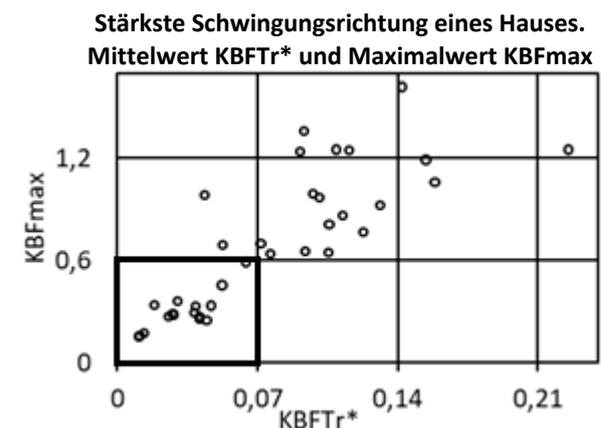
Alle Schwingungswerte wurden als Geschwindigkeiten verarbeitet. Wie in der DIN4150-2 vorgesehen, werden keine Einheiten verwendet. Alle Angaben sind in mm/s.

Das Innengeräusch wurde C-bewertet und unbewertet verarbeitet. Als Maß für die nächtliche Belastung mit Sekundärschall wurden 1% und 2% Perzentilwerte berechnet.

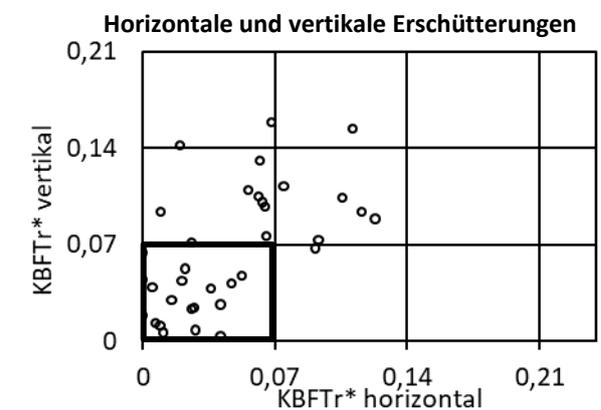
Die Bewohner wurden nach der Wahrnehmung und Störung durch Lärm und Erschütterungen verschiedener Quellen und speziell auf deren Einfluss auf den Schlaf befragt.

## Messergebnisse

Abbildung 1 zeigt für die untersuchten Häuser die maximalen Werte für KBFT<sub>r</sub>\* und KBFmax in Wohnräumen. Im Sektor unten links werden die Anhaltswerte der DIN4150-2 (KBFT<sub>r</sub> 0,07, MI nachts, KBFmax 0,6) eingehalten, außerhalb des umrandeten Sektors liegen die Erschütterungen teils deutlich über den Anhaltswerten.



**Abbildung 1:** KBFmax und KBFT<sub>r</sub>\* für die stärkste Schwingungsrichtung eines Hauses  
0,07 ist der Anhaltswert Mischgebiete für KBFT<sub>r</sub>.  
0,6 ist der Wert KBFmax, den Eisenbahnerschütterungen in Wohngebäuden nicht überschreiten sollten [mm/s].



**Abbildung 2:** gemittelte Schwingungsamplitude KBFT<sub>r</sub>\* für die horizontale und vertikale Schwingung in 34 Häusern.

Für die statistische Auswertung wurden 2 Gruppen gebildet. Gruppe A mit moderaten Erschütterungen unter und Gruppe B mit Erschütterungen oberhalb der Anhaltswerte.

Die Erschütterungen sind in der Regel in der vertikalen Richtung höher als horizontal. Starke Deckenresonanzen mit einer Verstärkung größer 3,15 waren selten – Abbildung 2.

In den Wohnräumen wurden starke tieffrequente Geräusche gemessen. Abbildung 3 zeigt, dass das Geräusch im

dargestellten Fall deutlich wahrgenommen werden kann. Die C-bewerteten 1% Perzentilpegel des Innengeräuschs liegen zwischen 60 und 75 dB. Die entsprechenden A-Pegel sind ca. 20 dB niedriger. Unbewertet und tieffrequent bis 6.3Hz summiert sind die Pegel ca. 10 dB höher.

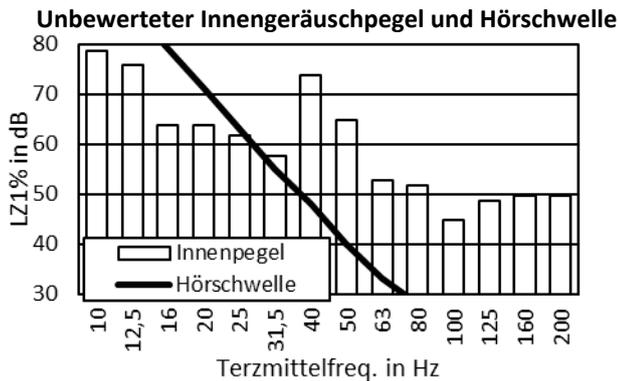


Abbildung 3: 1%-Perzentilwert Innengeräusch dB(L) im Vergleich zur Hörschwelle aus DIN45680-1997 exemplarisch für ein Haus aus der Studie.

### Statistische Auswertung

Tabelle 1 zeigt die Korrelation der Erschütterungswerte. KBFTm und KBFT<sub>r</sub> bzw. KBFT<sub>r</sub>\* korrelieren sehr stark untereinander und auch mit v<sub>max95</sub>. Allein der Spitzenwert KBF<sub>max</sub> unterscheidet sich von dieser Gruppe. Im Folgenden werden die Messwerte von KBFT<sub>r</sub>\* stellvertretend für die stark korrelierenden Werte und KBF<sub>max</sub> mit den Befragungen zu vergleichen.

Tabelle 1: Korrelation der Messgrößen aus 34 Messungen – verglichen wurde jeweils die stärksten in einem Wohnraum gemessenen Signale

	KBFT <sub>m</sub>	KBFT <sub>r</sub>	KBFT <sub>r</sub> *	KBF <sub>max</sub>	v <sub>max95</sub>
KBFT <sub>m</sub>	1,00	0,97	0,99	<b>0,84</b>	0,99
KBFT <sub>r</sub>	0,97	1,00	0,96	<b>0,85</b>	0,96
KBFT <sub>r</sub> *	0,99	0,96	1,00	<b>0,84</b>	0,98
KBF <sub>max</sub>	<b>0,84</b>	<b>0,85</b>	<b>0,84</b>	1,00	<b>0,89</b>
v <sub>max95</sub>	0,99	0,96	0,98	<b>0,89</b>	1,00

Die Studienteilnehmer haben sich nach einem Presseaufruf freiwillig gemeldet. Sie wurden ausgewählt nach Kriterien wie Ortslage, Abstand zum Gleis, Gebäudetyp und sind nicht repräsentativ. Sie zeigen alle eine kritische Einstellung zum Eisenbahn- und speziell zum Eisenbahngüterverkehr. Die Befragung fand in Form eines Vor-Ort-Interviews mit geschulten Interviewern statt. Diese sollten sicherstellen, dass die Teilnehmer, die Fragen verstehen und bei den Antworten sicher zwischen Geräusch und Erschütterung unterscheiden. Einige Teilnehmer waren nicht in der Lage differenziert zu antworten und gaben jeweils Höchstnoten, wenn in der Frage das Wort Güterverkehr vorkam. Die Interviewer waren angewiesen, jede Antwort zu akzeptieren und unverändert in die Auswertung zu übernehmen.

Trägt man die Antworten zur Belästigung über den gemessenen Werten in den jeweiligen Häusern auf, ist der Zusammenhang zwischen Messwerten und Belästigung zu erkennen – Abbildung 4 und Abbildung 5. Der Korrelationskoeffizient zwischen Belästigung und

Mittelwert KBFT<sub>r</sub>\* beträgt 0,5. Die Belästigung korreliert etwas schlechter zum KBF<sub>max</sub> mit 0,36.

Betrachtet man die beiden Gruppen A (moderate Erschütterung) und B (stärkere Erschütterungen) aus Abbildung 1, kann man deutliche Unterschiede zwischen den beiden Gruppen sichtbar machen.

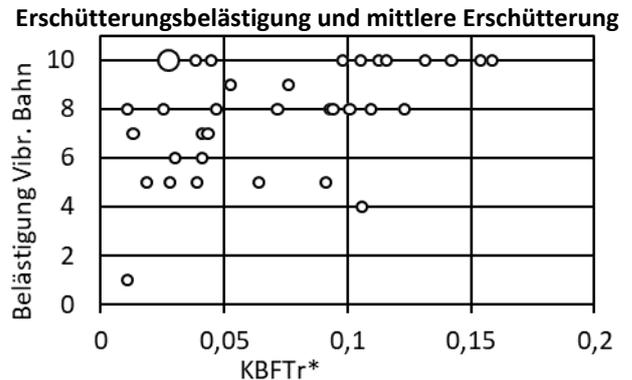


Abbildung 4: Belästigung durch Vibrationen des Eisenbahnverkehrs auf einer Skala von 0-10 (0 nicht belästigt, 10 extrem belästigt) und Erschütterungswert KBFT<sub>r</sub>\*. Die Größe der Punkte zeigt Mehrfachmessungen an gleicher Position an.

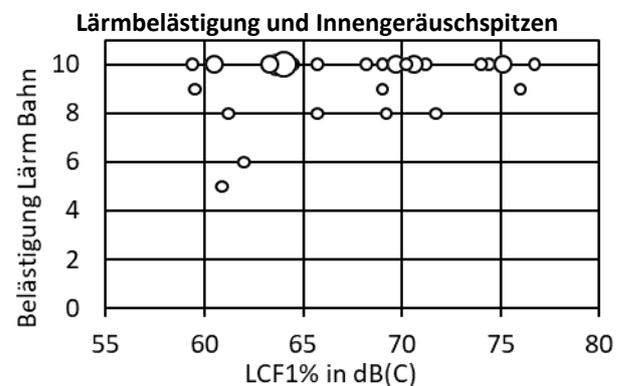


Abbildung 5: Belästigung durch Lärm des Eisenbahnverkehrs auf einer Skala von 0-10. 1% Perzentil des Innengeräuschs. Die Größe der Punkte zeigt Mehrfachmessungen an gleicher Position an.

Besonders fällt auf, dass die Bewohner in Gruppe B im Durchschnitt 10 Jahre älter sind als Gruppe A. Der Einfluss des Alters wurde mit einer multivariaten Varianzanalyse überprüft und ist vernachlässigbar ( $p \gg 0,05$ ).

Die Antworten der beiden Gruppen werden als Boxplot dargestellt. Zu erkennen ist der Mittelwert als x, der Median als Querstrich und 50% der Werte liegen innerhalb der beiden Boxenhälften.

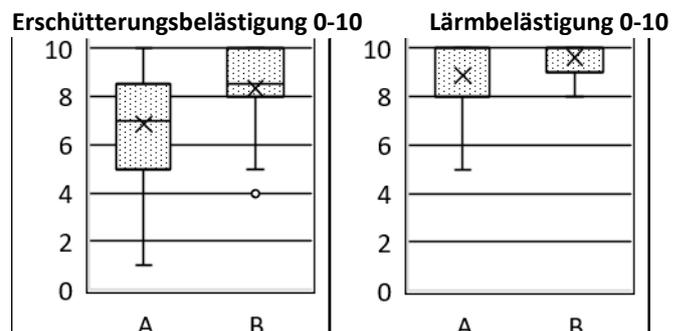


Abbildung 6: Belästigung Vibration und Lärm als Boxplot.

Beide Gruppen bewerten den Lärm gleich lästig und sind laut Umgebungslärmkarte mit Außenlärm der höchsten Stufe belastet. Die mittleren Innenpegel der beiden Gruppen unterscheiden sich nur um ca. 6 dB. Tieffrequenter Lärm und Erschütterungen werden jedoch anders wahrgenommen. Hier können 6 dB schon eine Verdoppelung der Wahrnehmung bedeuten. Manchmal entscheiden 6 dB ob die Wahrnehmungsschwelle überschritten wird oder nicht. Gruppe B bewertet jedenfalls Erschütterungen deutlich stärker als A aber immer noch mindestens 1 Stufe unter Lärm.

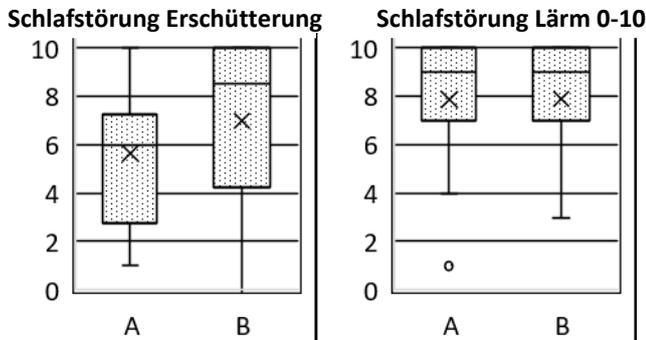


Abbildung 7: Schlafstörung Vibration u. Lärm. 0 nicht gestört, 10 extrem gestört.

Besonders Gruppe B fühlt sich im Schlaf durch Erschütterungen gestört – Abbildung 7. Entsprechend sind auch die Antworten auf die Fragen bezüglich Aufwachen, Einschlafdauer und Schlafqualität – Abbildung 8, Abbildung 9.

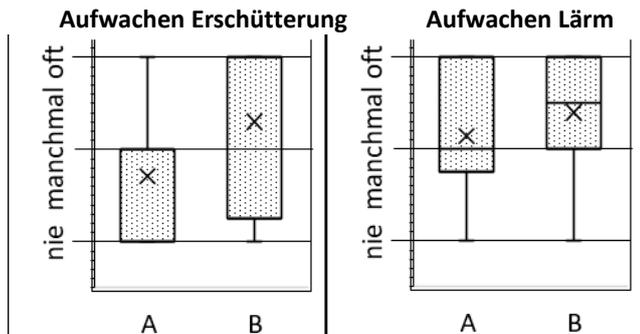


Abbildung 8: Aufwachen durch Vibration u. Lärm.

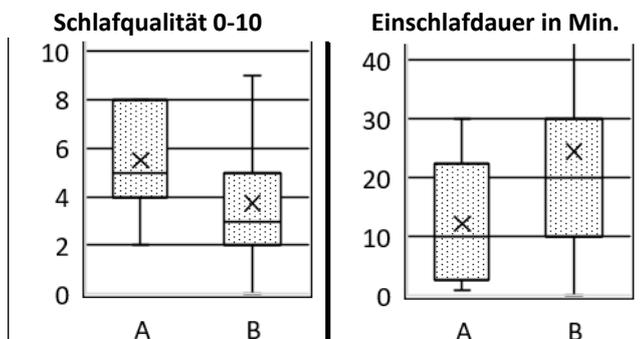


Abbildung 9: Schlafqualität (0 sehr schlecht, 10 ausgezeichnet) und Einschlafdauer in Minuten.

Das Alter der Studienteilnehmer hat keinen statistisch nachweisbaren Einfluss auf die Aussagen zum Schlaf. Abbildung 10 zeigt, dass bei Erschütterungen unter 0,3 bis auf 2 Personen, die immer maximal geantwortet haben, kein Anwohner regelmäßig wegen Erschütterungen aufwacht, bei

Erschütterungen über 0,6 kommt das aber häufig vor. Das passt zu Untersuchungen im Schlaflabor[4] und zeigt, dass der Wert von KBFmax 0,6 nachts auf keinen Fall überschreiten sollte. Abbildung 11 belegt, dass mit steigendem Innengeräusch auch die Aufwachreaktionen häufiger werden, dass es aber auch einige gerade ältere Anwohner geschafft haben, sich mit der Situation zu arrangieren.

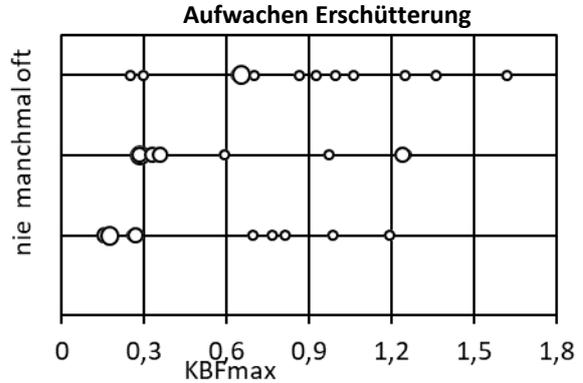


Abbildung 10: Aufwachen wegen Vibration und Maximalwert der Vibration. Die Größe der Punkte zeigt an, wie viele Personen gleiche Antworten bei gleicher Erschütterung gegeben haben.

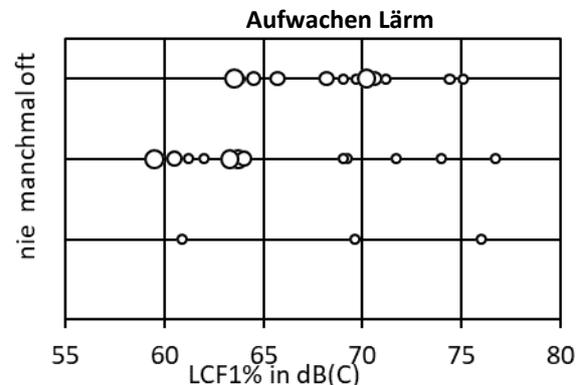


Abbildung 11: Aufwachen wegen Lärm und Innengeräuschpegel durch Sekundärschall. Der Pegel wurde i.d.R nicht im Schlafzimmer gemessen. Die Größe der Punkte zeigt an, wieviele Personen gleiche Antworten bei gleichem Pegel gegeben haben.

Ein weiterer Fragenbereich behandelte die Einstellung zum Eisenbahngüterverkehr und die Entwicklung der Situation in der Vergangenheit und in die Zukunft. Die in der Studie beteiligten Anwohner sehen die Bahn als nicht besonders umweltfreundlich an, akzeptieren aber eine gewisse Notwendigkeit.

In den letzten Jahren war das Thema Eisenbahnlärm regelmäßig auf der politischen Agenda und die Umrüstung der Bremssysteme kommt voran. Ein Teil der Anwohner besonders in der weniger belasteten Gruppe A hat diese Fortschritte in Bezug auf Lärm registriert. Gleichzeitig glaubt in beiden Gruppen die Mehrheit, dass sich die Situation in Bezug auf Erschütterungen verschlechtert hat. Ob das stimmt, lässt sich nicht einfach belegen, da vorhandene ältere Messungen auch immer nur einen kurzen Zeitraum erfassen. Die uns vorliegenden älteren Messungen, die in einem Fall im gleichen Haus stattfanden, sind jedenfalls in den maximalen Erschütterungen nicht niedriger als die aktuellen. Es kann sein, dass sinkende Lärmpegel,

Erschütterungen prägnanter erlebbar machen[5] und die Erschütterungen nicht zugenommen haben.

Für die zukünftige Entwicklung erwarten die Anwohner nichts Gutes – Abbildung 14. Es wird befürchtet, dass die Situation in Bezug auf Lärm und Erschütterungen sich durch ständig steigenden Verkehr stetig verschlechtert.

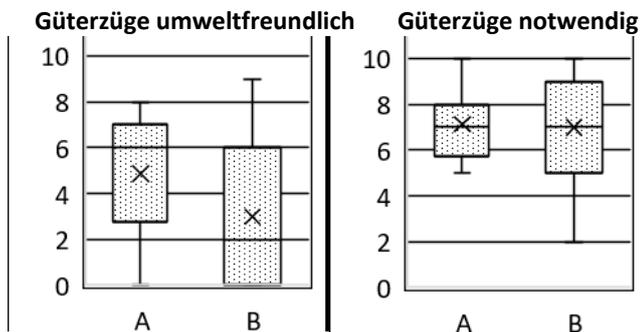


Abbildung 12: Einstellung zum Güterverkehr auf Schienen. 0 überhaupt nicht umweltfreundlich / notwendig, 10 besonders umweltfreundlich / notwendig

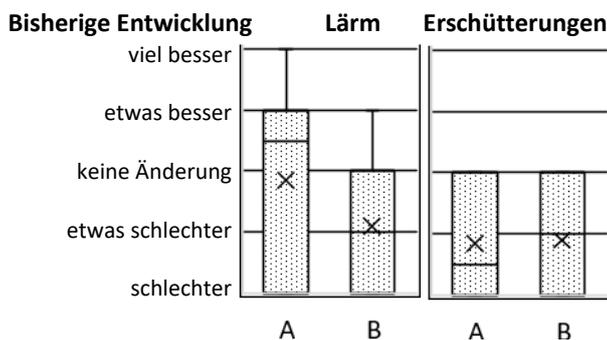


Abbildung 13: Einschätzung der Entwicklung der letzten drei Jahre für die Anwohner am Mittelrhein.

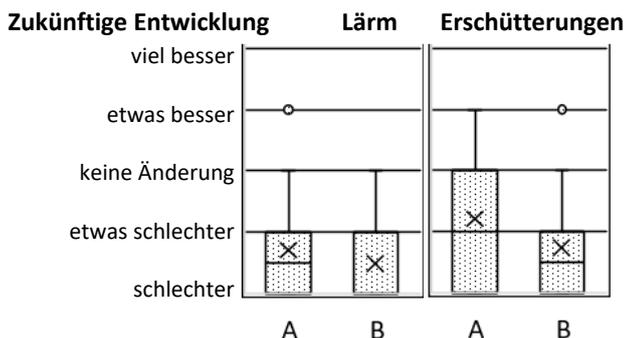


Abbildung 14: Einschätzung der zukünftigen Entwicklung für die Anwohner am Mittelrhein.

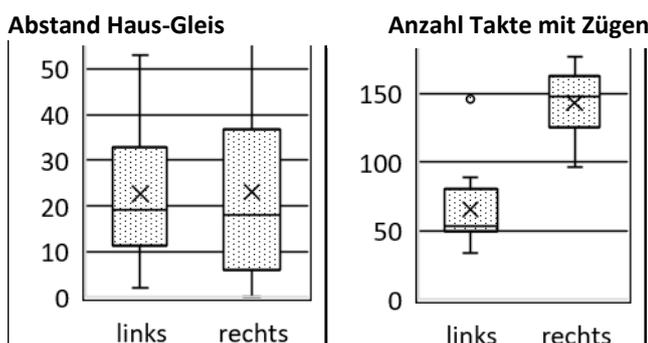


Abbildung 15: Abstand der Häuser zum Gleis für die linke und rechte Rheinseite. Anzahl der 30-Sekunden-Takte mit

nächtlichen, Eisenbahn-verursachten Erschütterungen auf der linken und rechten Rheinseite.

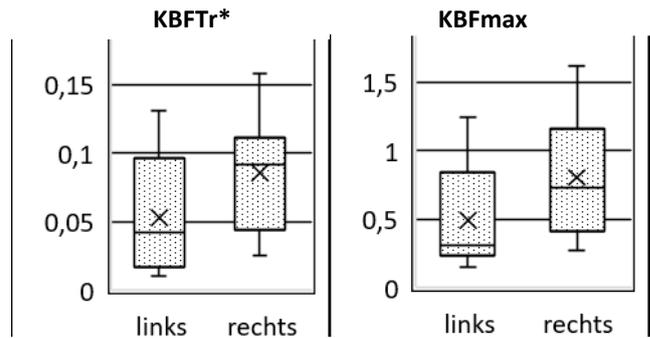


Abbildung 16: Gemittelter Erschütterungswert KBFTTr\* und KBFmax auf der linken und rechten Rheinseite.

Während der Untersuchung fielen besonders viele hohe Erschütterungswerte in rechtsrheinischen Gebäuden auf. Linksrheinisch lag die Hälfte der KBFmax-Werte unter 0,3. Auf der rechten Seite nur 3 von 21; die Hälfte lag sogar über 0,6. Das kann weder über den Abstand zum Gleis noch über die Zuganzahl erklärt werden – evtl. über Länge und Tonnage der Züge.

### Zusammenfassung

Die Anwohner der Eisenbahnstrecke am oberen Mittelrhein, im Rheingau und in Rheinhessen werden durch Lärm und Erschütterungen speziell des Güterverkehrs hoch belastigt. Die Belästigung durch Lärm steht trotz etlicher vollzogener Maßnahmen und Verbesserungen im Vordergrund. Erschütterungen wirken sich auf den Schlaf aus, sobald der KBFmax-Wert 0,3 überschreitet. Würden die Anhaltswerte der DIN4150-2 nachts eingehalten, würde sich die Situation der Anwohner deutlich verbessern.

### Literatur

- [1] J. Woodcock, E. Peris, A. Moorhouse, und D. Waddington, „D1.5 Guidance document for the evaluation of railway vibration“, Cargovibes, Abschlussbericht DELIVERABLE D1.5, März 2014.
- [2] DIN 4150-2, „Erschütterungen im Bauwesen Teil 2: Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“. 1999.
- [3] I. Turunen-Rise, A. Brekke, L. Harvik, C. Madshus, und R. Klæboe, „Vibration in dwellings from road and rail traffic - Part i: a new Norwegian measurement standard and classification system“, *Appl. Acoust.*, Bd. 64, S. 71–87, 2003.
- [4] M. G. Smith, M. Ögren, und K. P. Waye, *Physiological reaction thresholds to vibration during sleep*. Göteborg: University of Gothenburg, 2015.
- [5] K. Zeichart, A. Sinz, A. Schuemer-Kohrs, und R. Schuemer, „Erschütterungen durch Eisenbahnverkehr und ihre Wirkungen auf Anwohner - Teil I: Zum Zusammenwirken von Erschütterungs- und Geräuschbelastung“, *Z. Für Lärmbekämpfung*, Bd. 41, S. 43–51, 1994.