

Forschungsprojekt

Mittelrheintal-Bahnlärmindex

Abschlussbericht

Auftraggeber: Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz
Kaiser-Friedrich-Straße 1
55116 Mainz

Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
Mainzer Str. 80
65189 Wiesbaden

Auftrag vom: 30.08.2010

Aufgabenstellung: Ermittlung des in der Machbarkeitsstudie vorgeschlagenen Schienenverkehrslärmindex

Bearbeitung: ZBF Zentrum für Bodenschutz und Flächenhaushaltspolitik FH Trier
Prof. Dr. Kerstin Giering
Sabine Augustin
Postfach 1380
55761 Birkenfeld

Dieser Bericht besteht aus 78 Seiten.

Birkenfeld, den 14.02.2012

Danksagung

Die Autorinnen danken allen beteiligten Ministerien und Landesämtern sowie der ZEUS GmbH, der Braunstein + Berndt GmbH, dem Eisenbahnbundesamt und der Deutschen Bahn AG für die Bereitstellung der benötigten Daten und die gute Zusammenarbeit.

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|-----------|
| ZUSAMMENFASSUNG | 8 |
| 1 PERIMETER UND ADRESSDATEN..... | 14 |
| 1.1 Auswahl des Betrachtungsperimeters..... | 14 |
| 1.2 Ermittlung der Adressdaten für die Dosis-Wirkungskurve für Belästigung..... | 15 |
| 2 ERSTELLUNG EINES DIGITALEN SIMULATIONSMODELLS FÜR DAS MITTELHEINTAL | 16 |
| 2.1 Digitales Geländemodell (DGM) und Digitales Oberflächenmodell (DOM)..... | 16 |
| 2.2 Gebäudeumrisse und Hauskoordinaten..... | 17 |
| 2.3 Gemeindegrenzen..... | 18 |
| 2.4 Schienenstrecken..... | 18 |
| 2.5 Schallschutzmaßnahmen..... | 20 |
| 2.6 Einwohnerdaten | 21 |
| 2.7 Schulen, Krankenhäuser und Kindergärten..... | 22 |
| 3 DURCHFÜHRUNG VON AUSBREITUNGSBERECHNUNGEN FÜR DIE ERSTELLUNG DER | 23 |
| DOSIS-WIRKUNGSKURVE..... | 23 |
| 3.1 Berechnungsgrundlage und Software..... | 23 |
| 3.2 Rechenlaufeinstellungen..... | 23 |
| 3.3 Rechengebiete und DGM..... | 24 |
| 3.4 Berechnungsergebnisse | 24 |
| 3.5 Nachbefragung..... | 28 |
| 4 DOSIS-WIRKUNGSKURVE FÜR BELÄSTIGUNG..... | 31 |
| 5 SCHIENENLÄRMINDEX BELÄSTIGUNG | 33 |
| 5.1 Berechnung..... | 33 |
| 5.2 Ergebnisse..... | 35 |
| 5.2.1 Auswertung der Belasteten..... | 35 |
| 5.2.2 Schienenlärmindex Belästigung | 37 |
| 5.3 Diskussion..... | 41 |
| 6 SCHIENENLÄRMINDEX AUFWACHREAKTIONEN..... | 46 |
| 6.1 Berechnung..... | 46 |
| 6.2 Ergebnisse..... | 50 |
| 6.2.1 Auswertung der Betroffenen | 50 |
| 6.2.2 Schienenlärmindex Aufwachreaktionen | 53 |
| 6.3 Diskussion..... | 57 |
| 7 VERGLEICH INDEX BELÄSTIGUNG – INDEX AUFWACHREAKTIONEN | 58 |
| 8 TESTBERECHNUNGEN FÜR VERSCHIEDENE LÄRMMINDERUNGSMABNAHMEN | 61 |
| 8.1 Aufgabenstellung | 61 |
| 8.2 Testgebiet..... | 61 |
| 8.3 Erstellung der Vergleichssituation und Modellierung der Maßnahmen | 62 |
| 8.4 Ergebnisse..... | 65 |
| 9 ABSCHÄTZEN DES EINFLUSSES EINER SCHALLHARTEN AKUSTISCHEN UMGEBUNG .. | 68 |
| 10 PROBLEME, AUSBLICK, KRITIK | 75 |
| LITERATURVERZEICHNIS | 79 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1 Untersuchungsraum mit Perimetern | 9 |
| Abbildung 2 Dosis-Wirkungskurve (Quelle: (Schreckenber, 2011)) | 9 |
| Abbildung 3 Anzahl der Belasteten am Tag pro Pegelklasse, | 10 |
| Abbildung 4 Index Belästigung, nach Perimetern | 10 |
| Abbildung 5 Anzahl der Betroffenen <u>in der Nacht</u> pro Pegelklasse, | 11 |
| Abbildung 6 Index Aufwachreaktionen, nach Perimetern | 12 |
| Abbildung 7 Indexwerte der Maßnahmen im Tagzeitraum | 12 |
| Abbildung 8 Überblick über die Betrachtungsperimeter (grobes DGM) | 14 |
| Abbildung 9 Beispieldaten für die Abgabe der Adressdaten | 15 |
| Abbildung 10 Übersicht Rechengebiete | 24 |
| Abbildung 11 Ausschnitt Übersichtskarte | 25 |
| Abbildung 12 Anzahl der Gebäude je Pegelklasse, Hauptbefragung, Perimeter 1 | 26 |
| Abbildung 13 Anzahl der Gebäude je Pegelklasse, Hauptbefragung, Perimeter 2 | 27 |
| Abbildung 14 Anzahl der Gebäude je Pegelklasse, Hauptbefragung, Gesamt | 28 |
| Abbildung 15 Anzahl der Gebäude je Pegelklasse, Nachbefragung, Perimeter 1 | 29 |
| Abbildung 16 Anzahl der Gebäude je Pegelklasse, Nachbefragung, Gesamt | 30 |
| Abbildung 17 Dosis-Wirkungskurve (Quelle: (Schreckenber, 2011)) | 31 |
| Abbildung 18 Anteil Hochbelästigter durch Schienenlärm (Miedema & Oudshoorn, 2001) | 32 |
| Abbildung 19 Anzahl der Belasteten am Tag pro Pegelklasse, | 36 |
| Abbildung 20 Anzahl der Belasteten am Tag pro Pegelklasse, | 37 |
| Abbildung 21 Index Belästigung, nach Perimeter | 38 |
| Abbildung 22 Index Belästigung, nach Gemeinden - alphabetisch sortiert | 39 |
| Abbildung 23 Index Belästigung, nach Gemeinden – nach Index sortiert | 40 |
| Abbildung 24 Index Belästigung – Karte | 41 |
| Abbildung 25 Lage der Gebäude in den Gemeinden Koblenz-Stolzenfels und Rhens | 43 |
| Abbildung 26 DGM-Beispiel für den Perimeter 1 - Bacharach bis Bingen | 44 |
| Abbildung 27 DGM-Beispiel für den Perimeter 2 – Bingen bis Heidesheim | 45 |
| Abbildung 28 Dosis-Wirkungskurve Aufwachreaktionen (Quelle: (DLR, 2010)) | 47 |
| Abbildung 29 Anzahl der Betroffenen in der Nacht pro Pegelklasse, | 52 |
| Abbildung 30 Anzahl der Betroffenen in der Nacht pro Pegelklasse, | 52 |
| Abbildung 31 Index Aufwachreaktionen, nach Perimetern | 53 |
| Abbildung 32 Index Aufwachreaktionen, nach Gemeinden - alphabetisch sortiert | 54 |
| Abbildung 33 Index Aufwachreaktionen, nach Gemeinden – nach Index sortiert | 55 |
| Abbildung 34 Index Aufwachreaktionen – Karte | 56 |
| Abbildung 35 Direkter Kartenvergleich | 58 |
| Abbildung 36 Direkter Vergleich der Dosis-Wirkungskurven | 60 |
| Abbildung 37 Testgebiet | 61 |
| Abbildung 38 Testgebiet Index Belästigung – Vergleich der Maßnahmen | 65 |
| Abbildung 39 Testgebiet Index Aufwachreaktionen – Vergleich der Maßnahmen | 66 |
| Abbildung 40 Schnittlärmkarte Schiene | 69 |
| Abbildung 41 Schnittlärmkarte Linienschallquelle, schallweicher Untergrund | 69 |
| Abbildung 42 Schnittlärmkarte Linienschallquelle, schallharter Untergrund | 69 |
| Abbildung 43 Schnittlärmkarte Linienschallquelle, Rhein schallhart | 70 |
| Abbildung 44 Isophonenkarte Schiene, 4m Höhe | 70 |
| Abbildung 45 Isophonenkarte Linienschallquelle schallweich, 4m Höhe | 70 |
| Abbildung 46 Isophonenkarte Linienschallquelle schallhart, 4m Höhe | 70 |
| Abbildung 47 Isophonenkarte Linienschallquelle Rhein schallhart, 4m Höhe | 71 |
| Abbildung 48 Differenzenkarte Linienschallquelle schallweich-schallhart | 71 |
| Abbildung 49 Differenzenkarte Linienschallquelle schallweich-Rhein schallhart | 71 |
| Abbildung 50 Schnittlärmkarte Schiene schallweicher Untergrund, ÖAL | 72 |
| Abbildung 51 Schnittlärmkarte Schiene schallharter Untergrund, ÖAL | 72 |
| Abbildung 52 Schnittlärmkarte Schiene Rhein schallhart, ÖAL | 72 |
| Abbildung 53 Isophonenkarte Schiene schallweicher Untergrund, ÖAL, 4 m Höhe | 73 |
| Abbildung 54 Isophonenkarte Schiene schallharter Untergrund, ÖAL, 4 m Höhe | 73 |
| Abbildung 55 Isophonenkarte Schiene Rhein schallhart, ÖAL, 4 m Höhe | 73 |

| | |
|--|-----------|
| <i>Abbildung 56 Differenzkarte Schiene schallweich-schallhart, ÖAL</i> | <u>74</u> |
| <i>Abbildung 57 Differenzkarte Schiene schallweich-Rhein schallhart, ÖAL</i> | <u>74</u> |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| <i>Tabelle 1 Gebäudehöhenzuordnung Hessen (Quelle: (Kempiak & Petz, 2007))</i> | 17 |
| <i>Tabelle 2 SoundPLAN-Rechenlaufeinstellungen Gebäudelärmkarten Befragung</i> | 23 |
| <i>Tabelle 3 Anzahl der Gebäude je Pegelklasse, Hauptbefragung, Perimeter 1</i> | 25 |
| <i>Tabelle 4 Anzahl der Gebäude je Pegelklasse, Hauptbefragung, Perimeter 2</i> | 26 |
| <i>Tabelle 5 Anzahl der Gebäude je Pegelklasse, Hauptbefragung, Gesamt</i> | 27 |
| <i>Tabelle 6 Anzahl der Gebäude je Pegelklasse, Haupt- und Nachbefragung, Perimeter 1</i> | 29 |
| <i>Tabelle 7 Anzahl der Gebäude je Pegelklasse, Haupt- und Nachbefragung, Gesamt</i> | 30 |
| <i>Tabelle 8 SoundPLAN-Rechenlaufeinstellungen Gebäudelärmkarten,</i> | 34 |
| <i>Tabelle 9 Anzahl der Belasteten am Tag pro Pegelklasse,</i> | 35 |
| <i>Tabelle 10 Anzahl der Belästigten am Tag pro Pegelklasse,</i> | 36 |
| <i>Tabelle 11 SoundPLAN-Rechenlaufeinstellungen Gebäudelärmkarten,</i> | 49 |
| <i>Tabelle 13 Anzahl der Betroffenen in der Nacht pro Pegelklasse,</i> | 50 |
| <i>Tabelle 14 Anzahl der Betroffenen in der Nacht pro Pegelklasse,</i> | 51 |
| <i>Tabelle 15 Vergleich der Indices für Belästigung und Aufwachreaktionen</i> | 59 |
| <i>Tabelle 16 Übersicht über die berechneten Maßnahmen</i> | 62 |
| <i>Tabelle 17 Zugsetup Vergleichssituationen ohne Maßnahmen</i> | 63 |
| <i>Tabelle 18 Aufteilung der Züge nach K-Sohlen Umrüstungsgrad</i> | 64 |
| <i>Tabelle 19 Testgebiet Index Belästigung</i> | 65 |
| <i>Tabelle 20 Testgebiet Index Aufwachreaktionen</i> | 66 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------|--|
| DB AG | Deutsche Bahn AG |
| DGM | Digitales Geländemodell |
| DOM | Digitales Oberflächenmodell |
| EBA | Eisenbahnbundesamt |
| ETRS | Europäisches Terrestrisches Referenzsystem |
| HLUG | Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie |
| LUWG | Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht |
| LVerGeo | Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation |
| Schall 03 | Richtlinie zur Berechnung von Schallimmissionen von Schienenwegen, Ausgabe 1990 |
| SLIB | Schienenlärminde Belästigung |
| UTM | Universal Transverse Mercator |
| VBE | Vorläufige Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen |
| VBUSch | Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienen- wegen |

Zusammenfassung

Im Februar 2010 haben sich die Umwelt- und Verkehrsminister von Rheinland-Pfalz und Hessen auf ein 10-Punkte-Programm verständigt, das durch eine Kombination kurz-, mittel- und langfristiger Maßnahmen dazu beitragen soll, den Schienenverkehrslärm im Mittelrheintal umwelt- und menschenverträglicher zu gestalten. Im Rahmen dieses 10-Punkte-Programms soll unter anderem ein Modell für ein praktikables Verfahren zur Lärmkontingentierung im Mittelrheintal entwickelt werden.

Dazu hat das Fachgebiet Technische Akustik / Schallschutz der FH Trier, Standort Umwelt-Campus Birkenfeld, im Sommer 2010 eine Machbarkeitsstudie¹ abgeschlossen, in deren Rahmen verschiedene Möglichkeiten einer praxistauglichen Kontingentierung des Schienenverkehrslärms im Mittelrheintal untersucht wurden.

Da Immissionsgrenzwerte den Zusammenhang zwischen der Höhe der Lärmbelastung und deren Wirkungen auf den Menschen nur ungenügend abbilden, wurde angeregt, eine wirkungsbezogene Größe zur Beschreibung der Lärmsituation heranzuziehen. Vorgeschlagen wurde in der Machbarkeitsstudie ein Schienenlärmindex, der die Lärmwirkungen - Belästigung tags und Aufwachreaktionen nachts - auf die betroffenen Menschen widerspiegeln soll und sich an den wirkungsbezogenen Indices, die für den Fluglärm in der Umgebung der Flughäfen Zürich und Frankfurt entwickelt wurden, orientiert.

Der Index sollte es auch ermöglichen, Veränderungen der Lärmsituation bspw. infolge von Lärmschutzmaßnahmen widerzuspiegeln und Hinweise darauf zu geben, welche Maßnahmen aus Sicht der Lärmwirkungen zu präferieren wären.

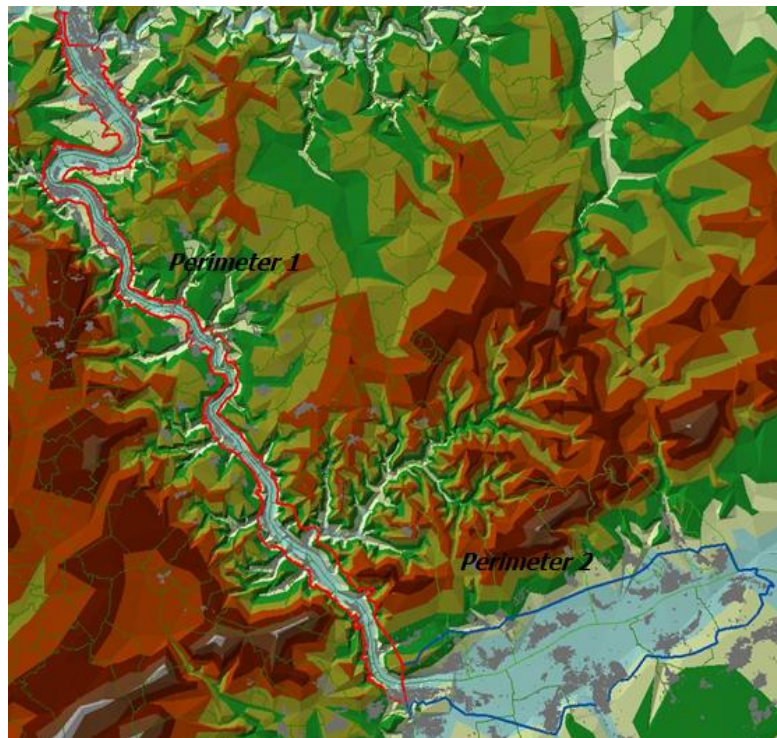
Der Schienenlärmindex² wurde auf der Grundlage der derzeit verfügbaren Datenstruktur vorgeschlagen; für einen modernen und zukunftsweisenden Index (der bei der jetzigen Datengrundlage nicht berechenbar ist) sei auf die Ausführungen in (Giering & Augustin, 2010) verwiesen.

Das Gebiet, für das die Indices berechnet wurden, erstreckt sich von Koblenz bis Mainz / Wiesbaden und wurde anhand der Höhenzüge des Mittelrheintals sowie der Gemeindegrenzen und der Isophonenlinien des Eisenbahnbundesamtes aus der Lärmkartierung 2007 / 2008 festgelegt. Da innerhalb dieses Untersuchungsraums die Topografie zwischen Bingen und Mainz im Vergleich zu dem Bereich von Koblenz bis Bingen / Rüdeshheim wesentlich verschieden ist, wurde der gesamte Bereich in zwei Perimeter unterteilt. Der Perimeter 1, das „Mittelrheintal“, ist das Gebiet von Koblenz bis Bingen / Rüdeshheim, der Perimeter 2 beinhaltet die Gemeinden von Bingen bis (exklusive) Mainz / Wiesbaden, den „Rheingau / Rheinhessen“. Die Indices wurden jeweils für alle Gemeinden und beide Perimeter berechnet.

¹ Vgl. (Giering & Augustin, 2010)

² Unter Index sind hier und im Folgenden der Schienenlärmindex tags (Belästigung) und nachts (Aufwachreaktionen) zu verstehen.

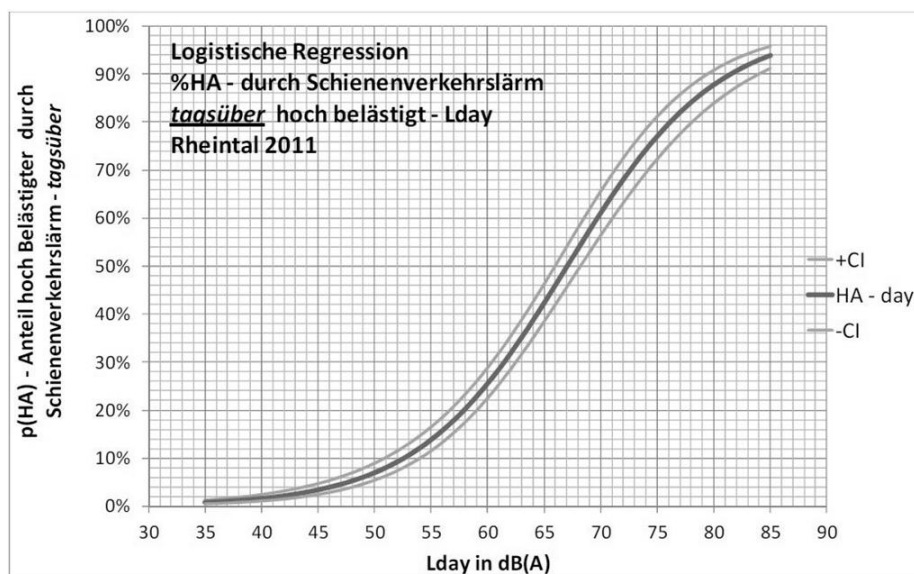
Abbildung 1 Untersuchungsraum mit Perimetern



Der Schienenlärmindex für den Tagzeitraum beruht auf Dosis-Wirkungsrelationen zur Belästigung, die spezifisch für das Untersuchungsgebiet erhoben wurden. Die zugrundeliegende Metrik ist hier der äquivalente Dauerschallpegel.

Diese Dosis-Wirkungskurve für den Anteil Hochbelästigter (HA) wurde von der ZEUS GmbH, Hagen erstellt. Dazu wurden im Oktober 2010 sowie im Juli / August 2011 Telefonbefragungen von insgesamt 1211 Personen in beiden Perimetern durchgeführt³.

Abbildung 2 Dosis-Wirkungskurve (Quelle: (Schreckenberg, 2011))

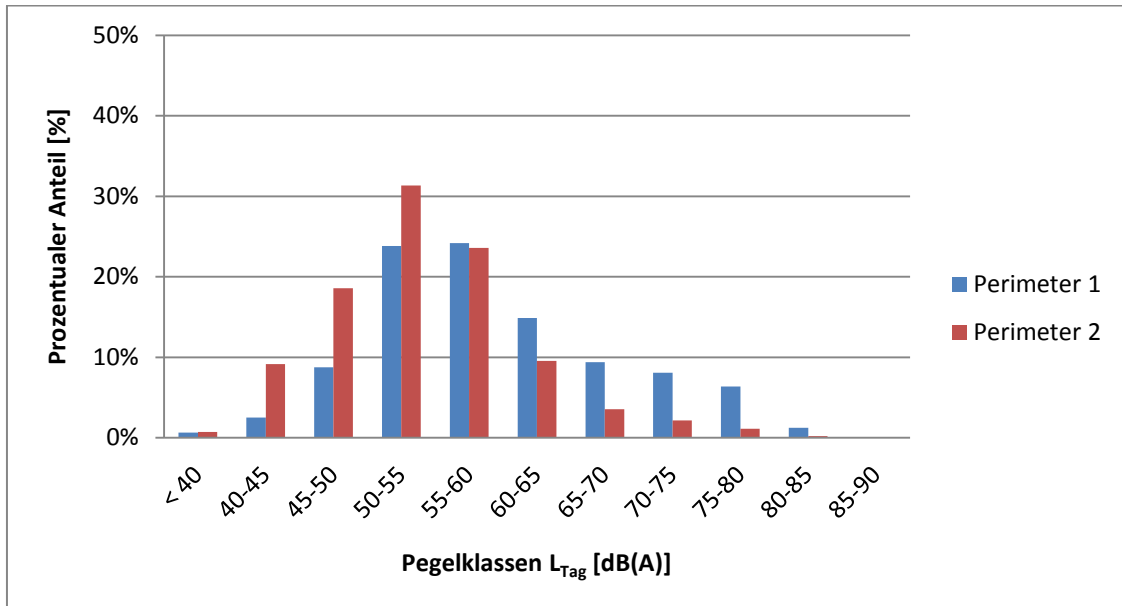


³ Eine ausführliche Dokumentation der Befragungsstudie wird in (Schreckenberg, 2011) gegeben.

Zur Berechnung des Indexes für die Belästigung tags wurden zunächst die entsprechenden Pegelberechnungen (unbewerteter Tagpegel von 06-22 Uhr) durchgeführt. Die Abbildung 3 zeigt als Ergebnis die Verteilung der Einwohner auf die Pegelklassen auf der Grundlage des höchsten Pegels pro Stockwerk im Tageszeitraum.

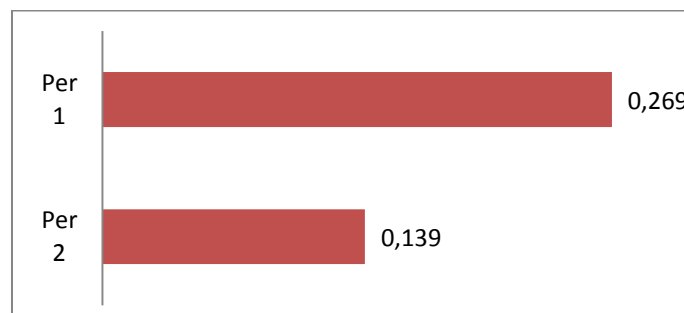
Im Perimeter 1 sind anteilig mehr Belastete in den Pegelklassen über 60 dB(A) als im Perimeter 2 befragt worden; die meisten Belasteten in beiden Perimetern finden sich in den Pegelklassen von 50-60 dB(A). Die Verteilung über die Pegelklassen ist in beiden Perimetern ähnlich.

Abbildung 3 Anzahl der Belasteten am Tag pro Pegelklasse, maximaler Gebäudepegel, Perimeter 1 und 2 getrennt, prozentual



Mit dem höchsten Pegel pro Stockwerk wurde der Schienenlärmindex berechnet. Dies erfolgte separat für jede Gemeinde und für jeden Perimeter. Die Ausweisung eines Gesamtindex ist nicht sinnvoll, da, bedingt durch die topografischen Unterschiede in beiden Perimetern, unterschiedliche Schallausbreitungsbedingungen vorliegen. Die folgende Abbildung gibt die Indexwerte im Tageszeitraum für die Perimeter an, für die gemeindeweisen Indexwerte wird auf die ausführliche Ergebnisdarstellung in Kapitel 5 hingewiesen.

Abbildung 4 Index Belästigung, nach Perimetern



Der Index für den Tageszeitraum kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Dabei bedeutet „1“, 100 % der Bevölkerung sind „hochbelästigt“, „0“, niemand ist „hochbelästigt“. Der höchste Wert für eine Gemeinde beträgt 0,535, der niedrigste Wert ist 0,046; der nach Ein-

wohnern gewichtete Mittelwert beträgt 0,201. Demnach ist im gesamten Untersuchungsraum ein Anteil von 20 % der Bevölkerung „hochbelastigt“.

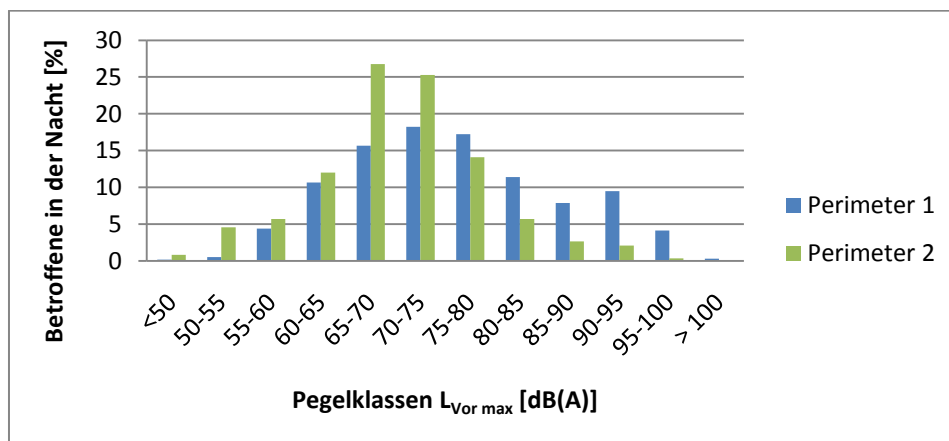
Der Schienenlärmindex für den Nachtzeitraum basiert auf einer Zunahme der Aufwachwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom maximalen Vorbeifahrtspegel am Ohr des Schlafers.

Da die derzeit gültigen deutschen Berechnungsvorschriften (Schall 03, VBUSch) keine Maximalpegel berücksichtigen, wurde zur Berechnung von maximalen Vorbeifahrtspegeln auf eine Arbeit von Möhler (Möhler, 1990) zurückgegriffen. Der Pegel wird dabei wesentlich durch Zuglänge und Vorbeifahrtsgeschwindigkeit bestimmt.

Durch die Firma Braunstein + Berndt erfolgte die Implementierung eines „Maximalpegeltools“ zusammen mit der Möglichkeit der Auswertung in Form von Pegelhäufigkeitsverteilungen in die Version 7.1 des schalltechnischen Berechnungsprogramms SoundPLAN. Die Zahl der zusätzlichen, durch den Schienenverkehrslärm hervorgerufenen Aufwachreaktionen wurde auf der Grundlage einer Untersuchung des Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrums (DLR, 2010) zur Zunahme der Aufwachwahrscheinlichkeiten durch Maximalpegelereignisse von Schienenverkehr ermittelt.

Mit den berechneten maximalen Vorbeifahrtspegeln (Angabe des höchsten Pegels pro Stockwerk) für die Nacht (22-06 Uhr) ergab sich folgende Verteilung der Einwohner auf die Pegelklassen.

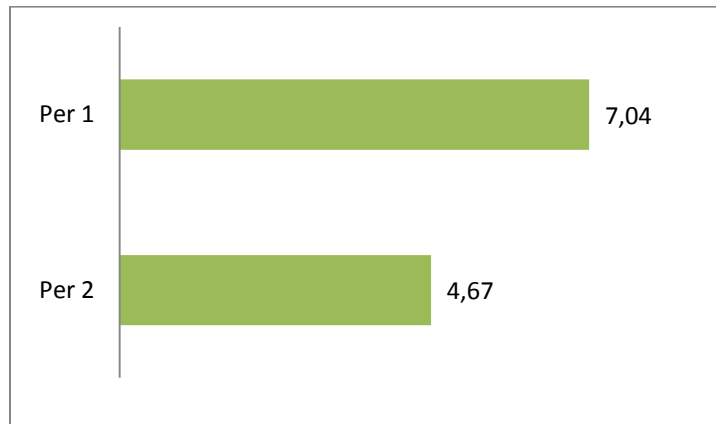
Abbildung 5 Anzahl der Betroffenen in der Nacht pro Pegelklasse, maximaler Vorbeifahrtspegel am Gebäude, Perimeter 1 und 2 getrennt, prozentual



Die Verteilungen in beiden Perimetern unterscheiden sich deutlich. Während im Perimeter 2 die meisten Einwohner der Pegelklasse 65-70 dB(A) zugeordnet werden können, gibt es im Perimeter 1 zwei Maxima, ein Hauptmaximum in der Pegelklasse 70-75 dB(A) und ein Nebenmaximum in der Klasse 90-95 dB(A). Ab der Pegelklasse 75-80 dB(A) liegt der Anteil der Einwohner pro Pegelklasse im Perimeter 1 durchgehend über dem im Perimeter 2.

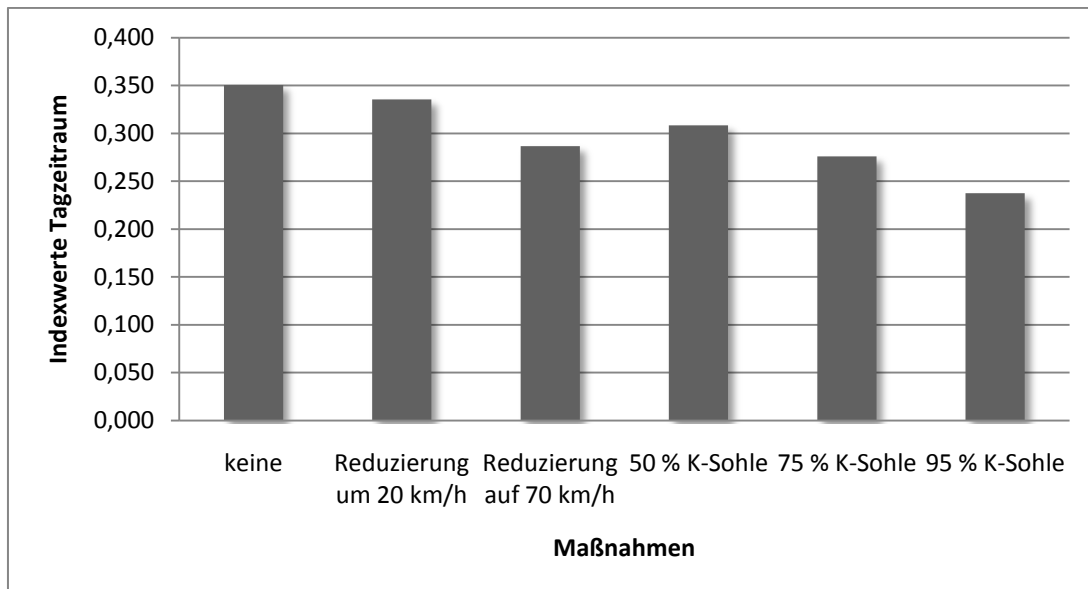
Der gemeindebezogene Schienenlärmindex im Nachtzeitraum nimmt Werte zwischen 2,52 und 12,4 an, je höher der Schienenlärmindex, desto höher auch Zahl der schlafgestörten Personen. Die gemeindebezogenen Ergebnisse finden sich in Kapitel 6. In der nachfolgenden Abbildung ist der Index für die beiden Perimeter graphisch dargestellt, der nach Einwohnern gewichtete Mittelwert im Untersuchungsraum beträgt 6,95, d.h. durchschnittlich sind ca. 7 zusätzliche Aufwachreaktionen pro Nacht bahnlärmbedingt.

Abbildung 6 Index Aufwachreaktionen, nach Perimetern



Mit Hilfe der Indices kann die Wirksamkeit von geplanten Lärminderungsmaßnahmen beurteilt werden. Dazu wurden für das Testgebiet verschiedene Szenarien zur Lärminderung betrachtet: Es wurden die Maßnahmen „Geschwindigkeitsreduktion“ und „Umrüstung auf die K-Sohle“ in verschiedenen Umsetzungsstufen untersucht und dafür die Indexwerte berechnet. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Abbildung beispielhaft für den Tagzeitraum zusammengestellt.

Abbildung 7 Indexwerte der Maßnahmen im Tagzeitraum⁴



Die größte Wirksamkeit wird mit der fast vollständigen Umrüstung auf die K-Sohle erreicht, eine allgemeine Reduzierung der Geschwindigkeit bewirkt nur eine geringe Verringerung des Indexwerts.

⁴ Die Streckengeschwindigkeit ist die maximal zulässige Geschwindigkeit für den jeweiligen Streckenabschnitt und unabhängig von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit der Zuggattungen. In dem Testgebiet liegen die Streckengeschwindigkeiten je nach Streckenabschnitt zwischen 70 und 130 km/h, auf dem überwiegenden Teil der Schienenstrecken sind 100 km/h erlaubt.

Eine Begrenzung der Geschwindigkeit auf 70 km/h senkt den Indexwert für die Belästigung deutlich um 18 %; die Zahl Hochbelästigter wird damit um 18 % reduziert. Der Indexwert im Nachtzeitraum sinkt durch diese Maßnahme um etwa 10 %.

Von den untersuchten Maßnahmen ist die Umrüstung (von 95 %) der Güterwagen auf die K-Sohle am wirkungsvollsten. Der Schienenlärmindex für die Belästigung am Tag sinkt dadurch von 0,35 (ohne Maßnahme) auf 0,24, d.h. die Zahl Hochbelästigter verringert sich um 31 %. Im Nachtzeitraum sinkt der Indexwert in diesem Fall von 10,88 (ohne Maßnahme) auf 7,81, also um 28 %.

1 Perimeter und Adressdaten

1.1 Auswahl des Betrachtungsperimeters

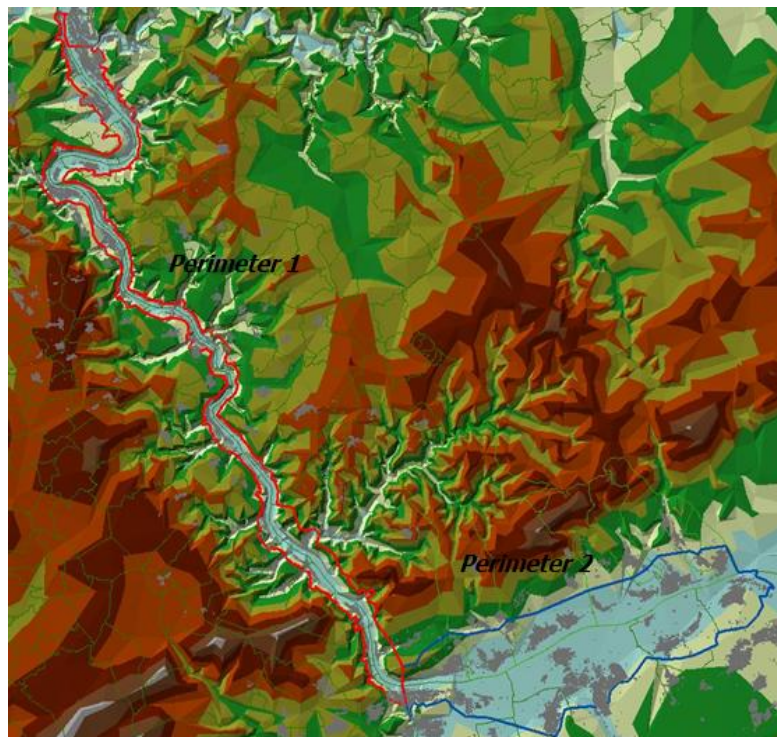
In der Machbarkeitsstudie (Giering & Augustin, 2010) wurde vorgeschlagen, den Schienenlärmindex für den Bereich des Mittelrheintals zwischen Koblenz und Bingen zu berechnen. Der Untersuchungsraum wird hier auf der Grundlage eines topographischen Kriteriums (steile Berghänge beiderseits des Rheins) bestimmt.

Um dieses Gebiet für die erforderlichen Berechnungen abzugrenzen, wurde mit Hilfe des Programms ArcGIS 9 anhand der Höhenzüge der Berghänge, der Gemeindegrenzen sowie mit den aus der Lärmkartierung des Eisenbahnbundesamtes zur Verfügung stehenden Isofonenlinien ein Betrachtungsperimeter erstellt (Perimeter „Mitterheintal“).

Über diesen vorgeschlagenen Perimeter der Machbarkeitsstudie hinausgehend, wurde für die Berechnung der Lärmindices der Betroffenheitsbereich um das Gebiet entlang der Schienenstrecken zwischen Bingen und Mainz / Wiesbaden erweitert. Aufgrund des, im Gegensatz zum oberen Mittelrheintal, eher ebeneren Geländes östlich der Stadt Bingen, konnte die Abgrenzung in diesem Bereich nicht anhand der Höhenzüge erfolgen⁵. Dieses Gebiet wurde daher vorwiegend auf der Grundlage der Isofonenlinien des Eisenbahnbundesamtes unter Berücksichtigung von Höhenänderungen festgelegt.

Nach Rücksprache mit dem MUFV und dem HMUELV wurde aufgrund der stark unterschiedlichen Topografie das gesamte Gebiet von Koblenz bis Mainz / Wiesbaden in zwei Perimeter aufgeteilt, zum einen in den *Perimeter 1 (Mittelrheintal)* von Koblenz bis Bingen und zum anderen in den *Perimeter 2 (Rheingau / Rheinhessen)* von Bingen bis Mainz / Wiesbaden.

Abbildung 8 Überblick über die Betrachtungsperimeter (grobes DGM)



⁵ Vgl. dazu auch Abbildung 26 DGM-Beispiel für den Perimeter 1 - Bacharach bis Bingen sowie Abbildung 27 DGM-Beispiel für den Perimeter 2 – Bingen bis Heidesheim.

Da die Daten (akustische Schiene, Isophonenlinien) der Lärmkartierung der Haupteisenbahnschienen der 1. Stufe durch das EBA in dem Koordinatensystem UTM / ETRS89 zur Verfügung standen und dieses das Koordinatensystem ist, welches zukünftig vorrangig zum Einsatz kommen soll, wurden alle Daten auf dieses Koordinatensystem transformiert; das akustische Modell und alle Berechnungen bauen auf diesem Koordinatensystem auf.

Beide Perimeter zusammen umfassen insgesamt 127.204 Einwohner sowie 31 Gemeinden.

1.2 Ermittlung der Adressdaten für die Dosis-Wirkungskurve für Belästigung

Der Schienenlärmindex SLI_B , der die Lärmbelastigung tags widerspiegelt, beruht auf einer für das Mitterheintal spezifischen Dosis-Wirkungskurve, die auf der Grundlage einer Befragung in dem betroffenen Gebiet erstellt wurde. Die Befragungen und die nachfolgende Erstellung der Dosis-Wirkungskurve wurden von der ZEUS GmbH, Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung, Hagen, durchgeführt.

Für die telefonische Befragung war es erforderlich, die im Untersuchungsraum liegenden Straßen zur Verfügung zu haben. Durch den Umwelt-Campus Birkenfeld wurde eine Liste der Straßen, die in dem betroffenen Gebiet liegen, generiert und zur Verfügung gestellt. Die Abgabe dieser Straßennamen erfolgte hausnummerngenau, da sonst bei langen Straßenzügen, die sich über die Grenzen des Perimeters erstrecken, möglicherweise zu viele, vom Schienenverkehrslärm nicht mehr betroffene, Einwohner befragt werden würden. Eine Einbeziehung dieser Personen würde das Befragungsergebnis verfälschen.

Um diese hausnummerngenaue Abgrenzung zu erhalten, wurden die hessischen und die rheinland-pfälzischen Hauskoordinaten, die im Herbst 2010 vom Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG) sowie dem Hessischen Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation (HVBG) zur Verfügung gestellt wurden, mit beiden Perimetern verschnitten.

Beide Perimeter beinhalten sowohl rheinland-pfälzische als auch hessische Gebiete, sodass die Dateien nach *Perimeter 1_RLP* und *Perimeter 1_Hessen* sowie *Perimeter 2_RLP* und *Perimeter 2_Hessen* unterschieden wurden. Die Datensätze wurden in Form von zwei Exceltabellen, die die Attribute *Hausnummer*, *Hausnummernzusatz*, *Straße*, *Postleitzahl Gemeinde* und *Ort* enthielten, zum 15.09.2010 an die ZEUS GmbH übergeben (vgl. Abbildung 9).

Abbildung 9 Beispieldaten für die Abgabe der Adressdaten⁶

| HNR | HNR_Zusatz | STRASSE | PLZ | ORT | ORT_ZUSATZ | ORTSTEIL |
|-------|------------|------------------------|-------|--------|------------|-------------|
| ■■■■■ | | Heinrich-Becker-Straße | 55411 | Bingen | am Rhein | Bingerbrück |
| ■■■■■ | | Heinrich-Becker-Straße | 55411 | Bingen | am Rhein | Bingerbrück |
| ■■■■■ | | Heinrich-Becker-Straße | 55411 | Bingen | am Rhein | Bingerbrück |
| ■■■■■ | ■■■■■ | Heinrich-Becker-Straße | 55411 | Bingen | am Rhein | Bingerbrück |
| ■■■■■ | | Im Schwalg | 55411 | Bingen | am Rhein | Bingerbrück |
| ■■■■■ | | Im Schwalg | 55411 | Bingen | am Rhein | Bingerbrück |
| ■■■■■ | | Heinrich-Becker-Straße | 55411 | Bingen | am Rhein | Bingerbrück |
| ■■■■■ | | Im Schwalg | 55411 | Bingen | am Rhein | Bingerbrück |
| ■■■■■ | | Im Schwalg | 55411 | Bingen | am Rhein | Bingerbrück |
| ■■■■■ | | Im Schwalg | 55411 | Bingen | am Rhein | Bingerbrück |
| ■■■■■ | | Im Schwalg | 55411 | Bingen | am Rhein | Bingerbrück |
| ■■■■■ | | Heinrich-Becker-Straße | 55411 | Bingen | am Rhein | Bingerbrück |
| ■■■■■ | | Im Schwalg | 55411 | Bingen | am Rhein | Bingerbrück |
| ■■■■■ | | Heinrich-Becker-Straße | 55411 | Bingen | am Rhein | Bingerbrück |
| ■■■■■ | | Drususstraße | 55411 | Bingen | am Rhein | Bingerbrück |

⁶ Aus Datenschutzgründen wurden die Hausnummern in diesem Beispiel geschwärzt.

2 Erstellung eines digitalen Simulationsmodells für das Mittelrheintal

2.1 Digitales Geländemodell (DGM) und Digitales Oberflächenmodell (DOM)

Die Daten für das gesamte Höhenmodell liegen in UTM / ETRS89-Standard vor und decken das Untersuchungsgebiet, bis auf eine dreieckförmige Lücke über unbebautem Gebiet südöstlich von Budenheim, vollständig ab. Da dieses Gebiet aufgrund der Lage und der großen Entfernung zu den umliegenden Gebäuden keinerlei Einfluss auf die Berechnungen hat, wurde diese Lücke für die Berechnung des DGM unter Zuhilfenahme der umliegenden Datenpunkte interpoliert.

Die Grundlagendaten für die Erarbeitung des DGM und des DOM wurden für den rheinland-pfälzischen Bereich von Koblenz bis Bingen Ende August 2010 durch das Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht (LUWG) übermittelt. Die Ausgangsdaten lagen als xyz-Daten im UTM / ETRS89 Bezugssystem vor. Die einzelnen Dateien (633 Dateien, Dateigröße jeweils zwischen 30 und 300 MB) waren nach dem folgenden Schema benannt: *U385587grd.xyz* oder *U385587vef.xyz*. Die ersten zwei Ziffern beschreiben jeweils den Rechtswert, die folgenden vier Ziffern den Hochwert der Koordinate, die in dem entsprechenden Bereich der xyz-Datei unten links liegt. Dateien mit dem Kürzel „grd“ im Dateinamen beschreiben das DGM, mit „vef“ das DOM. Die Daten liegen in Rheinland-Pfalz ungerastert als Punktwolke vor, jede Höhenveränderung wird zentimetergenau durch Höhenpunkte abgebildet.

Durch die Erweiterung des Untersuchungsgebiets wurde eine erneute Datenanforderung für den Bereich von Bingen bis Mainz notwendig, wodurch die Übermittlung weiterer Daten (367 Datensätze) erforderlich wurde.

Die Höhenpunkte wurden aufgrund der hohen Datenmengen Dichte derselben in den Eingangsdaten innerhalb eines Puffers von 200 m rechts- und linksseitig der Schiene in der Form eingelesen, dass Punkte mit einem geringeren Abstand als 0,5 m Höhendifferenz zu dem benachbarten Punkt ausgefiltert wurden. Um mit noch handhabbaren Datenmengen arbeiten zu können, wurde außerhalb dieses Puffers die maximale Höhendifferenz auf 1 m erhöht, da in größerer Entfernung zur Emissionsquelle die Genauigkeit des digitalen Geländemodells auf die Berechnungsergebnisse einen geringeren Einfluss hat. Der Rasterabstand für die Berechnung des Digitalen Geländemodells betrug für beide Bereiche 4 m x 4 m.

Die vom EBA zur Verfügung gestellten Dateien zur akustischen Schiene beinhalten auch Informationen zu der Höhe der Schienenoberkante. Mit Hilfe eines Tools des Berechnungsprogramms SoundPLAN wurden entlang der Schienenwege Trassen gebildet, um im Bereich der Schienen ein „glattes“ Gelände zu erzeugen.

Die so generierten Geofiles bilden die Grundlage für die Berechnung des DGM.

Innerhalb von Gebäudeumrissen wurden die Höhenpunkte sowohl für das DGM als auch für das DOM ungefiltert eingelesen, um exakte Höheninformationen im Bereich von Gebäuden zu gewährleisten.

Aus den Höheninformationen des DOM konnten, in Verbindung mit dem DGM, die Gebäudehöhen extrahiert werden.

Die hessischen Daten für das DGM liegen als Rasterdaten (1 m x 1 m Raster) vor, die Genauigkeit beträgt 4 Punkte / m². Die Daten wurden, ebenso wie die rheinland-pfälzischen Daten, im UTM32 / ETRS89 Bezugssystem geliefert und umfassen 19 Dateien mit einer Größe zwischen 42 und 780 MB, die nach dem Schema *DGM1_410000_5540000.xyz* benannt sind.

Die Daten wurden mit den gleichen Einstellungen wie die rheinland-pfälzischen Daten in SoundPLAN eingelesen, gefiltert und für die Berechnung des DGM verwendet.

Aufgrund der enormen Dateigrößen wurden insgesamt 10 DGMs berechnet.

Für die hessischen Gemeinden liegen keine Daten zur Erstellung eines digitalen Oberflächenmodells (DOM) vor. Das rheinland-pfälzische DOM deckt auch Randbereiche von Hessen ab, so dass in diesen Bereichen die Gebäudehöhen daraus ermittelt werden konnten. Für die verbleibenden Gebäude mussten die Gebäudehöhen pauschalisiert werden. Es wurde dabei auf die Vorgehensweise der Lärmkartierung 2007 (Kempiak & Petz, 2007) zurückgegriffen, da die Daten, die in die Berechnung der Schienenlärmindizes eingehen, auch eine Grundlage für eine Lärmaktionsplanung darstellen sollen. In der folgenden Tabelle sind die pauschal angenommenen Gebäudehöhen für die verschiedenen Nutzungsformen aufgeführt. In Abhängigkeit von der entsprechenden Gebäudehöhe wurde die Anzahl der Geschosse festgelegt, die Geschosshöhe wurde auf 2,80 m festgesetzt.

Tabelle 1 Gebäudehöhenzuordnung Hessen (Quelle: (Kempiak & Petz, 2007))

| Gebäudenutzung | Grundfläche | h_{pauschal} | Wohnnutzung |
|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| egal | bis 25 m ² | 3 m | nein |
| Garagen, Umformer | egal | 3 m | nein |
| Kirchen | >25 m ² | 10 m | nein |
| Allgemeine Gebäude, Hauptgebäude | >25 m ² | 9 m | ja |
| Allgemeine Gebäude, Nebengebäude | >25 bis 200 m ² | 6 m | nein |
| Allgemeine Gebäude, Nebengebäude | >200 m ² | 8 m | nein |

2.2 Gebäudeumrisse und Hauskoordinaten

Von den zuständigen Stellen der beiden Bundesländer wurden für die Gebäude Hausumringe und Hauskoordinaten geliefert. Die Hausumringe beschreiben dabei den Umriss und die Lage des Gebäudes. Mittels der Hauskoordinaten, die aus dem Liegenschaftskataster stammen, kann über den Gebäudeschlüssel sowie die dazugehörige Gebäudekoordinate dem Gebäude die jeweilige Adresse zugeordnet werden.

Sowohl die Hausumringe als auch die Hauskoordinaten liegen im UTM / ETRS89-Standard vor.

In der Darstellung in einem Geoinformationssystem (ArcGIS, QuantumGIS) oder einer Lärmprognosesoftware (SoundPLAN) liegen die Hauskoordinaten innerhalb der jeweiligen Gebäudeumrisse, d.h., dass eine Zuordnung der Adressdaten und damit später der Einwohner möglich ist. Für das akustische Modell sind auch Garagen oder Gebäude ohne genaue Adresse relevant (Abschirmung), daher werden für diese ebenfalls die Gebäudeumrisse benötigt.

Die Gebäudedaten von Rheinland-Pfalz wurden vom LVerGeo im Gauß-Krüger-System zur Verfügung gestellt. Nach Rücksprache mit dem LVerGeo wurden die Gebäudedaten in das

UTM-Bezugssystem am Umwelt-Campus umwandelt, da im LVerGeo die Daten noch nicht in diesem Format vorlagen⁷.

Die gelieferten Gebäudedaten lagen sowohl für Rheinland-Pfalz als auch für Hessen weit über den Untersuchungsraum hinaus vor, so dass zum besseren Handling diese Daten mit dem Untersuchungsraum verschnitten wurden.

2.3 Gemeindegrenzen

Die Gemeindegrenzen von Rheinland-Pfalz wurden vom LVerGeo im Gauß-Krüger-Koordinatensystem geliefert, am Umwelt-Campus in UTM / ETRS89 umgewandelt und mit den Perimetern verschnitten.

Die Gemeinde- und Gemarkungsgrenzen des hessischen Teilgebietes wurden im UTM / ETRS89-Koordinatensystem geliefert und ebenfalls mit den Perimetergrenzen verschnitten.

2.4 Schienenstrecken

Zur Kennzeichnung der Emissionen der Schienenstrecke und der durch sie hervorgerufenen Immissionen sind Informationen über die Gleislage, Zugzahlen und Zugarten, Tunnel, Brücken, Bahnübergänge, Kurvenradien, Geschwindigkeiten, Art des Gleisaufbaus und Lärmschutzeinrichtungen erforderlich. Die Emissionen sind für die relevanten Zeitbereiche anzugeben.

Für die Erstellung der Dosis-Wirkungskurven sollten die akustischen Daten so zur Verfügung stehen, dass daraus verschiedene Metriken (bspw. L_T , L_{DEN} , $L_{Aeq,16h}$) abgeleitet werden können. Dieses ist nur möglich, wenn die Emissionsdaten für die Zeitbereiche Day (06.00-18.00 Uhr), Evening (18.00-22.00 Uhr) und Night (22.00-06.00 Uhr) getrennt ermittelt werden. Damit ist es auch problemlos möglich, die Daten für eine Lärmaktionsplanung zu nutzen.

Durch das Eisenbahnbundesamt wurde die akustische Schiene der Lärmkartierung 2007 / 2008 zur Verfügung gestellt. In dieser sind Informationen über die Gleislage- und Beschaffenheit - diese wurden in das akustische Modell übernommen - sowie die Emissionen in Form des Emissionspegels enthalten. Allerdings lassen sich aus den berechneten Emissionen keine Rückschlüsse auf die Eingangsdaten ziehen.

Alle Daten, die vom EBA abgegeben wurden, liegen im UTM / ETRS 89-System vor. Nach Aussagen des EBA ist die Lage der Schienenstrecke zentimetergenau. Während der Datenbearbeitung zeigte sich jedoch (aus dem Vergleich mit anderen Daten, wie Gebäuden und Orthophotos), dass die Schienenmittelachse rechtsrheinisch fast durchgehend um bis zu 0,75 m nach Osten verschoben ist. An kritischen Stellen, wie Brücken und Bahnübergänge wurde die Schienenlage innerorts anhand der Orthophotos angepasst, außerorts wurde die Abweichung toleriert, da nur vereinzelt Gebäude in der Nähe der Schienenstrecke liegen und der Einfluss auf den Index damit gering ist.

Bahnübergänge sind in der akustischen Schiene hinterlegt und wurden unter Zuhilfenahme der Orthophotos überprüft und im akustischen Modell mit einem Korrekturzuschlag von 5 dB versehen.

Im Untersuchungsraum sind sechs Tunnel zu berücksichtigen. Diese wurden anhand der Orthophotos in SoundPLAN nachdigitalisiert. Die Tunnelöffnung wurde als Halbkreis festgelegt, die Höhe und Breite war jeweils abhängig von der sichtbaren Öffnung auf den Ortho-

⁷ Stand Ende 2010.

photos. Genauere Informationen bezüglich der Absorptionseigenschaften der Tunnelportale stehen nicht zur Verfügung. Die Tunnelein- und -ausfahrten liegen jeweils mindestens 150 Meter von den nächstgelegenen Gebäuden entfernt, sodass die akustischen Einflüsse durch die Tunnelauskleidung zu vernachlässigen sind. Für die Absorptionseigenschaften der Tunnel wurden, im Sinne einer konservativen Betrachtungsweise, Betonoberflächen und Schotterbett, auch für die Portalbereiche, angenommen.

Für den Gleisaufbau wurden Betonschwellen auf Schotterbett angesetzt.

Die Lage der Brücken ist in der akustischen Schiene enthalten und wurde anhand von Orthophotos in SoundPLAN überprüft. Pauschal wurde zunächst, auf Grundlage der Gleisbreiten sowie der Orthophotos, eine Brückenbreite von 10 m im Modell angenommen. In Bereichen, in denen diese Breite nicht ausreichend ist, weil die Schiene weiter auseinanderläuft, wurde die Brücke anhand von Orthophotos an die Bestandssituation angepasst.

Die Kurvenradien sind in der akustischen Schiene in der Berechnung des Emissionspegels berücksichtigt, aber nicht separat ausgewiesen. Mithilfe von ArcGIS 9 wurde eine Shapedatei erstellt, mit der Kurven mit einem Radius von < 300 m und Radien mit $300 \text{ m} \leq r < 500$ m in SoundPLAN grafisch dargestellt werden konnten. Darauf aufbauend wurde dem betroffenen Schienenabschnitt der jeweilige Zuschlag von 8 dB für Kurvenradien von kleiner als 300 m und 3 dB für Radien zwischen 300 m und 500 m manuell zugeteilt.

Die Zugzahlen (Art und Anzahl der Züge) sind von der Abteilung "Betrieblicher Umweltschutz" der Deutschen Bahn AG für alle Strecken im Mittelrheintal für das Jahr 2010 (Istzustand) sowie 2015 (Prognose) zur Verfügung gestellt worden; für dieses Projekt wurden die Daten des Istzustands verwendet. Die Zugzahlen liegen für die Beurteilungszeiträume Tag (06.00-22.00 Uhr) sowie Nacht (22.00-06.00 Uhr) vor. Die in diesen Daten angegebenen Geschwindigkeiten sind die Maximalgeschwindigkeiten für die jeweiligen Zuggattungen auf der Strecke. Für die unterschiedlichen Zugarten wurde zunächst ein Zugsetup in SoundPLAN mit den maximalen Geschwindigkeiten der Züge sowie den charakteristischen Zugparametern (Scheibenbremsenanteil, Länge, DFz – fahrzeugspezifische Zuschläge) erstellt. Da auf Teilstücken der Strecken die Geschwindigkeit begrenzt ist, wurden nicht die Maximalgeschwindigkeiten der jeweiligen Zuggattung als maßgebliche Geschwindigkeit angenommen, sondern die Maximalgeschwindigkeit des Teilstreckenabschnitts; diese Daten konnten ebenfalls von der DB AG bezogen werden. Für die verschiedenen Schienenstreckenabschnitte wurden schließlich im Zugsetup jeweils nur die entsprechenden Zugzahlen sowie die Streckengeschwindigkeiten angepasst.

Da für die Berechnung von verschiedenen Metriken⁸ eine Unterteilung der Zugzahlen in die Zeitbereiche Day (06.00-18.00 Uhr), Evening (18.00-22.00 Uhr) und Night (22.00-06.00 Uhr) erforderlich ist, wurden die Zugzahlen der Tagperiode anteilig nach folgenden Gleichungen in Excel auf Day und Evening aufgeteilt:

$$\text{Verteilung Züge "Day"} = \frac{\text{Zugzahl}}{16} \cdot 12 \quad \text{(2-1)}$$

$$\text{Verteilung Züge "Evening"} = \frac{\text{Zugzahl}}{16} \cdot 4 \quad \text{(2-2)}$$

⁸ Auch in Hinblick auf die Verwendung der Daten für die Lärmkartierung ist eine Unterteilung in die drei Zeitbereich erforderlich.

Wenn es aufgrund der obenstehenden Verteilung zu rationalen Zugzahlen in einem oder beiden Bereichen gekommen ist, wurde (auf Grundlage der von der DB AG zur Verfügung stehenden Zugzahlen) angenommen, dass ein Regional- bzw. Personenzug überwiegend in den Tagstunden fährt, während ein Güterzug eher in den Abendstunden fährt⁹. Die Zugzahlen wurden dementsprechend manuell angepasst. Die so auf die verschiedenen Zeitbereiche aufgeteilten Zugzahlen wurden nochmals auf die beiden Gleise einer Schienenstrecke aufgeteilt. Wenn es hier zu rationalen Anteilen kam, wurde das der Bebauung nächstgelegene Schienengleis mit der höheren Zugzahl versehen. Aufgrund der proportionalen Aufteilung der Zugzahlen des 16-stündigen Tageszeitraums auf die Zeitbereiche Tag und Abend sind die damit gebildeten Dauerschallpegel nahezu identisch¹⁰.

Eine Überprüfung der korrekten Verteilung fand automatisiert in Excel statt, zusätzlich wurden die Daten vor und nach dem Einarbeiten in SoundPLAN nochmals manuell kontrolliert.

2.5 Schallschutzmaßnahmen

Die Lärmschutzwände liegen in den bereitgestellten Daten des Eisenbahnbundesamtes als Shape-Datei für die jeweilige Gemeinde vor. Nach Aussagen des EBA sind die Lärmschutzwände im Mittelrheintal jedoch nicht vollständig erfasst, da jede Gemeinde selbst die Möglichkeit hat, Lärmschutzwände zu errichten, die wiederum nicht dem EBA gemeldet werden müssen.

Die fehlenden Lärmschutzwände wurden daher durch eine Befahrung in der 37. und 38. Kalenderwoche 2010 erfasst. Anfang und Ende der Lärmschutzwände wurden entweder durch Orientierung an markanten Umgebungspunkten (Häuserflucht, Schilder, Brücken) oder per GPS-Koordinaten in einer Karte markiert und unter Zuhilfenahme der Orthophotos in SoundPLAN digitalisiert. Bei der Befahrung wurden auch die in den EBA-Daten enthaltenen LSW auf ihre Lage und Höhe validiert.

Der Abstand der Lärmschutzwand zur Schiene wurde generalisiert auf 1,80 m (mit Orientierung an den Daten des EBA) festgelegt. Die Höhe wurde vor Ort erfasst und im Modell entsprechend berücksichtigt. Das Absorptionsverhalten wurde als nicht reflektierend angenommen.

Lärmschutzwände in Bereichen von Brücken wurden als Brückenkappe mit der entsprechenden Wandhöhe im Modell berücksichtigt.

Im Zuge der Befahrung der Lärmschutzwände wurde ebenfalls die Lage der Schienenstegbedämpfer dokumentiert. Hier war es selten möglich, Anfangs- und Endpunkt exakt zu erfassen, da sie bei der Vorbeifahrt nicht leicht zu erkennen sind und der Aufwand für eine Erfassung zu Fuß zu hoch und nicht zielführend erschien. Daher wurde nur die ungefähre Lage der Schienenstegbedämpfer in den entsprechenden Karten vermerkt. Schienenstegbedämpfer sind im akustischen Modell nicht berücksichtigt (keine belastbaren Angaben zum Minderungspotential verfügbar).

Niedrigschallschutzwände wurden im Rahmen der Befahrung im Herbst 2010 nicht erfasst, da das BMVBS auf Anfrage Anfang November 2010 erklärte, dass erst in 2011 mit dem Bau der Niedrigschallschutzwände begonnen wird. Infolge dessen wurden diese nicht im akustischen Modell mit berücksichtigt.

⁹ Die von der DB AG zur Verfügung gestellten Zugzahlen waren die Grundlage für die Annahme; Personenzüge fahren eher im Tagzeitraum, Güterzüge eher in den Nachtstunden. Daher wurden Güterzüge eher dem Abend- als dem Tagzeitraum zugewiesen.

¹⁰ Das bedeutet insbesondere in Hinblick auf die Erstellung der Dosis-Wirkungskurve (s. Kapitel 4), dass es keinen Unterschied macht, ob der L_{day} oder der L_{Tag} die zugrunde gelegte Metrik ist.

Daten zum passiven Schallschutz sind derzeit zwar bei der Deutschen Bahn vorhanden, jedoch nicht in einer Form, in der sie in die Berechnungen eingepflegt werden könnten (fragmentierte Datenstruktur, die Daten liegen an verschiedenen Stellen in unterschiedlichen Formaten vor).

2.6 Einwohnerdaten

Die Einwohnerdaten von Rheinland-Pfalz wurden, ebenso wie bei der Lärmkartierung 2007 der Hauptverkehrsstraßen, über die Gesellschaft für Kommunikation und Wissenstransfer GmbH (KommWis) bereitgestellt. Dazu wurden am UCB die Daten (Hauskoordinaten) gemäß der Datenrichtlinie der KommWis mithilfe der Straßentabelle¹¹ aufbereitet. Die Zahl der Einwohner für das betreffende Gebäude wurde von der KommWis in einer Spalte ergänzt. In der weiteren Projektbearbeitung wurden die Einwohner den Gebäuden im Berechnungsmodell über einen ASCII-Import zugeordnet, die Zuordnungsquote liegt bei 97,8 %, d.h. es konnten nur 2,2 % der bereitgestellten Einwohnerdaten (dabei gibt es auch Gebäude mit der Einwohnerzahl Null) nicht zugeordnet werden.

Für Hessen liegen nach Auskunft des HLUg keine landesweit einheitlich erfassten, gebäudegenauen Einwohnerdaten vor¹². Ausgenommen hiervon sind die Ballungsräume Frankfurt und Wiesbaden.

Nach Anfrage an das ekom21 (Kommunales Gebietsrechenzentrum Hessen) liegen die Einwohnerdaten teilweise bei den Gemeinden selbst, teilweise beim ekom21 vor. Eine Herausgabe der Daten des ekom21 bedarf jedoch des Einverständnisses der jeweiligen Gemeinde. Anfragen an die hessischen Gemeinden direkt ergaben, dass die Einwohnerdaten in unterschiedlichen Strukturen und in verschiedenen Datenformaten vorliegen. Ein Auslesen der Daten für das Projekt erfordert spezielle Algorithmen, die derzeit nicht für jede der von den Gemeinden eingesetzten Softwarelösungen vorliegen. Eine Zusammenführung der Daten wäre daher nicht ohne erheblichen Aufwand möglich.

Daher wurde bei der Zuweisung der Einwohner auf die Gebäude auf die Vorgehensweise der Lärmkartierung 2007 (Kempiak & Petz, 2007) zurückgegriffen. Diese beruht auf den Vorgaben der VBEB („Vorläufige Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm“) (VBEB, 2007):

$$\text{Einwohnerzahl} = \frac{\text{Grundfläche} \cdot 0,8 \cdot \text{Geschosszahl}}{41 \text{ m}^2} \quad (2-3)$$

Dabei sind 41 m² die durchschnittliche Wohnfläche pro Einwohner in der Bundesrepublik. Diese wurde durch den hessenspezifischen Wert von 43,6 m² ersetzt¹³.

Mit dieser pauschalisierenden Vorgehensweise wurden allen, nach den vom HLUg gelieferten Datensätzen als Hauptgebäuden ausgewiesenen Gebäuden Einwohner zugeordnet. Insgesamt wurden 75.852 Einwohner zugewiesen, das entspricht 127%¹⁴ der Einwohner der betrachteten Gemeinden. Da die hessischen Gemeinden nur teilweise innerhalb des Untersuchungsraumes liegen, ist diese Einwohnerzahl deutlich zu hoch. Es ist davon auszugehen,

¹¹ <http://www.kommwis.de/kommwis/Dokumente/Tabellen/>, zuletzt abgerufen am 22.03.2011

¹² U.a. Email Frau Hammer vom HLUg am 18.10.2010.

¹³ <http://www.statistik-hessen.de/themenauswahl/industrie-bau-handwerk-energie/landesdaten/bautaetigkeit-und-wohnungsbestand/wohngebaeude-und-wohnungsbestand/index.html>

¹⁴ Verglichen mit Datenangaben von wikipedia.de vom Dezember 2010.

dass eine nicht unerhebliche Fehlerquelle in den Pauschalisierungen hinsichtlich der Gebäudehöhen, die außerhalb des rheinland-pfälzischen DOM stattgefunden hat sowie in der Festlegung der Nutzung (als Wohnnutzung für alle Hauptgebäude) begründet ist. Aus diesem Grund wurden nachträglich alle Hauptgebäude mit einer Grundfläche größer als 300 m² als Nebengebäude deklariert und die Anzahl der Stockwerke aller Hauptgebäude mit einer Höhe von 9 m von drei auf zwei korrigiert. Nach Multiplikation mit dem mittleren Korrekturfaktor 0,789 aus der Lärmkartierung 2007 konnte so eine Einwohnerzahl von 43.553 erzielt werden, das entspricht 76% der Einwohner der gesamten Gemeinden. Dieses Ergebnis erscheint mit Blick auf den Perimeter plausibel, sodass durch dieses Vorgehen der nicht vermeidbare Fehler aus pauschalisierten Gebäudehöhen und Einwohnern reduziert werden konnte.

2.7 Schulen, Krankenhäuser und Kindergärten

Um die Daten für eine spätere Aktionsplanung nutzen zu können, ist die Kenntnis der Lage von Schulen und Krankenhäusern erforderlich. Auf Wunsch der Auftraggeber sollten zusätzlich alle Kindergärten erfasst werden.

In Rheinland-Pfalz sind die Angaben zur Gebäudenutzung in den Gebäudedaten enthalten, sodass die Informationen zu Schulen, Krankenhäusern und Kindergärten aus diesen Daten übernommen werden konnten. Für jedes zusammenhängende Gebäude (bspw. Hauptgebäude und dazugehörige Nebengebäude) wurde eine eigene Flurstücksnummer vergeben, diese Zuordnung erfolgte händig.

In den hessischen Datensätzen sind keine Angaben zur Nutzungsart nach Schulen, Krankenhäusern oder Kindergärten enthalten. In Absprache mit dem Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz wurden die Schulen daher nach dem aktuellen Schulverzeichnis und die Krankenhäuser auf der Grundlage von Google Maps eingepflegt. Ein im Nachhinein vom HLUG übermittelter Excel-Datensatz zu den Schulen und Krankenhäusern bestätigte die korrekte Zuordnung.

Zusätzlich wurde anhand einer vom HLUG zur Verfügung gestellten Tabelle die Lage der Kindergärten mittels georeferenzierter Adresse zugeordnet.

3 Durchführung von Ausbreitungsberechnungen für die Erstellung der Dosis-Wirkungskurve

3.1 Berechnungsgrundlage und Software

Ziel der Berechnungen ist die Ermittlung der Fassadenpegel an den Gebäuden der durch das ZEUS Institut befragten Personen (stockwerksgenau). Die Befragung soll ca. 1000 Personen umfassen, etwa 500 Befragte je Perimeter 1 und 2.

Die betroffenen Gebäude wurden mit jeweils einer eindeutigen ID versehen. Mit der sog. Gebäudelärmkarte (Bestimmung der Geräuscheinwirkungen vor dem „geöffneten Fenster“ – es werden also keine Rückreflexionen durch das Gebäude selbst berücksichtigt) wurden für die Fassaden stockwerksweise Immissionspegel ermittelt. Berechnet wurde, auf der Grundlage der Schallausbreitungsrechnungen der Schall 03, der äquivalente Dauerschallpegel (L_{Aeq}). Dieser wurde, entsprechend der dafür bestimmten Emissionen, für die Zeitbereiche Day (06.00-18.00 Uhr; L_D), Evening (18.00-22.00 Uhr; L_E) sowie Night (22.00-06.00 Uhr; L_N) ermittelt. Es wurde von den zwei in der Schall 03 vorgegebenen Zeitbereichen Tag (06-22 Uhr) und Nacht (22-06 Uhr) abgewichen, um die Erstellung verschiedener Metriken zu ermöglichen¹⁵. Bei der Berechnung erfolgte keine Berücksichtigung des Schienenbonus bzw. von Zuschlägen für bestimmte Zeitbereiche (Evening und Night).

Die Berechnungen wurden mit dem schalltechnischen Berechnungsprogramm SoundPLAN 7.0 der Firma Braunstein + Berndt, Backnang durchgeführt.

3.2 Rechenlaufeinstellungen

Zur Berechnung der Gebäudelärmkarten wurden in SoundPLAN folgende Einstellungen gewählt:

Tabelle 2 SoundPLAN-Rechenlaufeinstellungen Gebäudelärmkarten Befragung

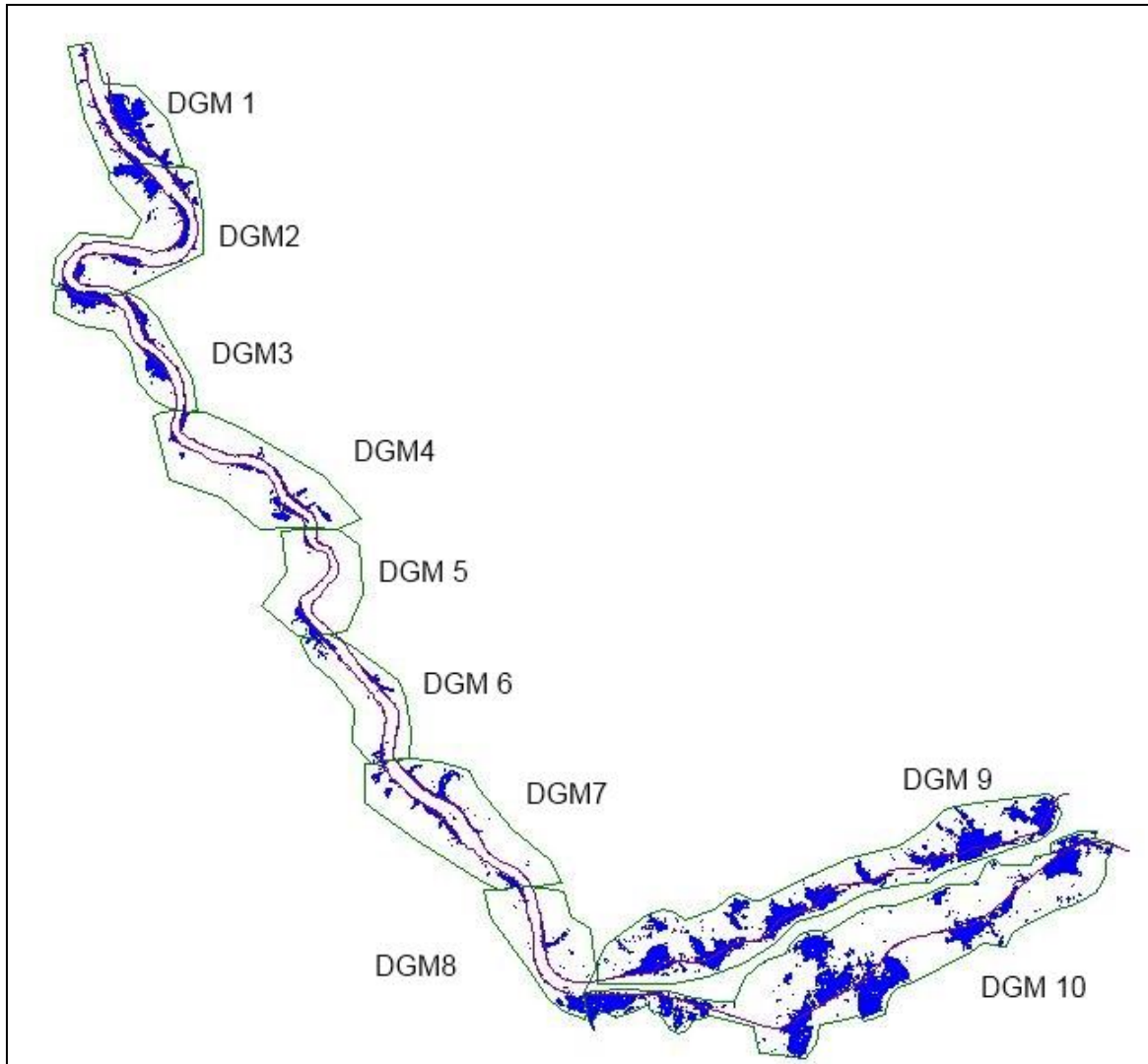
| | |
|--|---------------------------------|
| Reflexionsordnung | 1 |
| Maximaler Suchradius | 5.000 m |
| Maximale Reflexionsentfernung | 200 m |
| Maximaler Reflexionsabstand zur Quelle | 50 m |
| Toleranz | 0,001 dB |
| Filter | dB(A) |
| Richtlinie | Schall 03 |
| Bewertungstyp | Leq |
| Zeitbereiche | 06-18 Uhr, 18-22 Uhr, 22-06 Uhr |
| Ein Aufpunkt in der Mitte der Fassade | |
| Kachelung | ungekachelte |

¹⁵ Im weiteren Verlauf des Projektes wurde für die Bestimmung der Dosis-Wirkungskurve auf den Tagbereich (06-22 Uhr) zurückgegriffen, da Personen auf die Frage, wie belästigt sie sich von Verkehrslärm fühlen, nicht nach Tag- und Abendbereich differenziert antworten (können). Dafür wurde aus dem L_D (12 Stunden) und dem L_E (4 Stunden) über die Gewichtung nach Stunden pro Zeitbereich der L_T (16 Stunden) berechnet und für die weiteren Auswertungen verwendet.

3.3 Rechengebiete und DGM

Das erarbeitete Digitale Simulationsmodell mit den bedeutsamen baulichen und topographischen Gegebenheiten bildet die Grundlage für die Durchführung der Ausbreitungsrechnungen. Aufgrund der Größe des zu berechneten Gebiets wurde das gesamte Untersuchungsgebiet in 10 DGM und Rechengebiete unterteilt. Die Größe der DGM orientiert sich an den äußeren Grenzen des Perimeters sowie an dem Geländemodell und damit an der Dateigröße; in kleineren DGM (die DGM des ersten Perimeters) sind mehr Höheninformationen (Hänge des Mittelrheintals) enthalten als in den größeren DGM des zweiten Perimeters.

Abbildung 10 Übersicht Rechengebiete

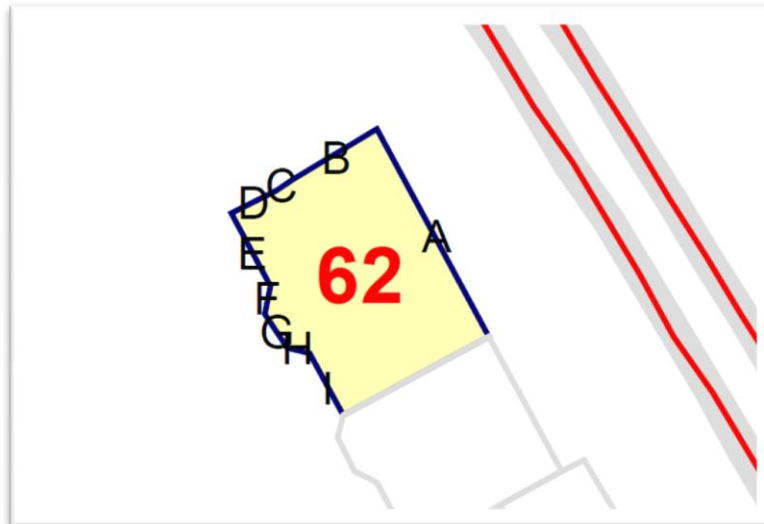


3.4 Berechnungsergebnisse

Die Berechnungsergebnisse wurden tabellarisch (txt, excel und pdf-Format) zusammenfasst und Ende März 2011 dem ZEUS GmbH zur Verfügung gestellt. Diese Ergebnistabellen geben die Pegel an dem maßgeblichen, d.h. von der GmbH befragten, Stockwerk wieder. Abgegeben wurden die unbewerteten akustischen Parameter L_D (06-18 Uhr), L_E (18-22 Uhr), L_N (22-06 Uhr) und L_{DEN} (24 Stunden) an den betroffenen Fassaden sowie die maximalen Fassadenpegelwerte für jeden Zeitbereich.

Zusätzlich wurden Übersichtskarten erstellt, aus denen sich die Lage der befragten Gebäude durch eine farbige Einfärbung sowie, in Verbindung mit den Tabellen und Kennzeichnungen der Fassaden die maßgebliche Fassade ablesen lassen.

Abbildung 11 Ausschnitt Übersichtskarte



Zusätzlich wurden die Ergebnisse nach Pegelklassen, für den gesamten Untersuchungsbe- reich sowie getrennt für Perimeter 1 und 2, zusammengefasst. Diese sind in den nachfolgen- den Tabellen und Abbildungen dargestellt, als Metriken sind hierfür nur der äquivalente Dau- erschallpegel über 24 Stunden sowie der Pegel für den Nachtzeitraum ausgewählt:

Tabelle 3 Anzahl der Gebäude je Pegelklasse, Hauptbefragung, Perimeter 1

| Pegelbereich (maximaler Pegel am maßgeblichen Stockwerk) [dB(A)] | Anzahl Gebäude | | Prozentualer Anteil [%] | |
|---|-------------------|-------|----------------------------|-------|
| | $L_{Aeq,24h}$ | L_N | $L_{Aeq,24h}$ | L_N |
| 80-85 | 9 | 12 | 1,8 | 2,4 |
| 75-80 | 43 | 54 | 8,7 | 10,9 |
| 70-75 | 51 | 47 | 10,3 | 9,5 |
| 65-70 | 49 | 59 | 9,9 | 11,9 |
| 60-65 | 83 | 98 | 16,7 | 19,7 |
| < 60 | 262 | 227 | 52,7 | 45,7 |
| Summe | 497 ¹⁶ | 497 | 100 | 100 |

¹⁶ Teilweise wurden mehrere Personen in einem Gebäude befragt, sodass die Summe der Gebäudean- zahl nicht mit der Summe der Befragten übereinstimmt. Wenn die Befragten in demselben Stockwerk erfasst wurden, taucht das Gebäude in der Tabelle nur einmal auf, sonst wurde es zweimal aufgeführt. Analog gilt dies auch für die Gebäude des Perimeters 2.

Abbildung 12 Anzahl der Gebäude je Pegelklasse, Hauptbefragung, Perimeter 1

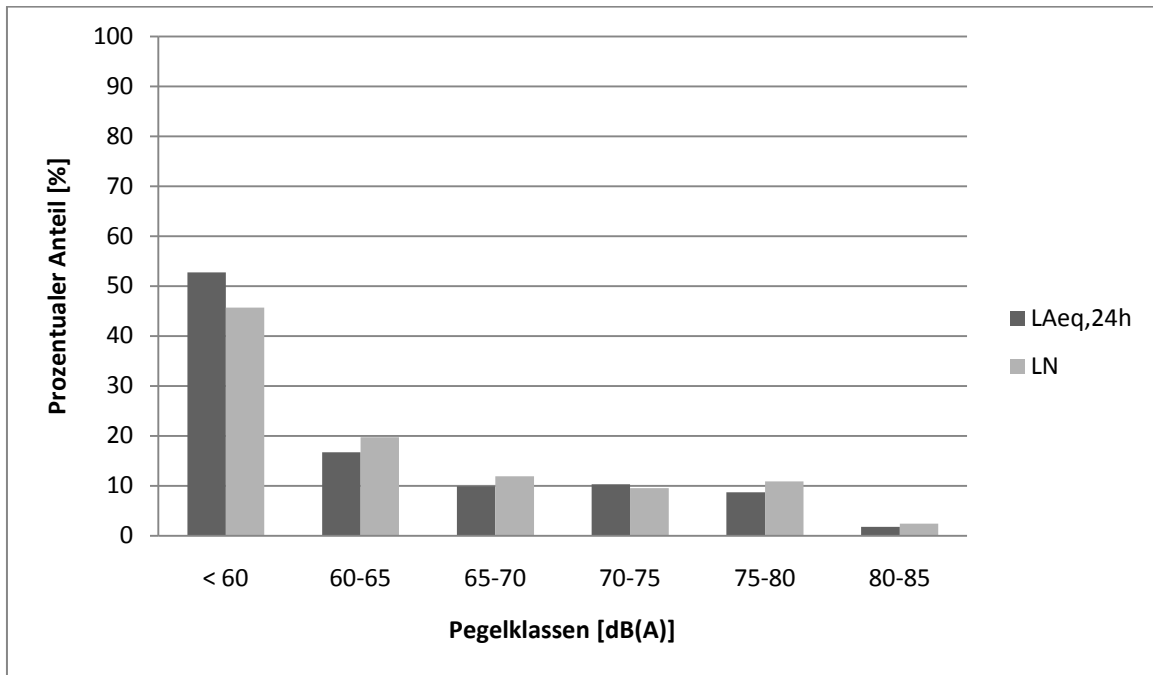


Tabelle 4 Anzahl der Gebäude je Pegelklasse, Hauptbefragung, Perimeter 2

| Pegelbereich (maximaler Pegel am maßgeblichen Stockwerk) [dB(A)] | Anzahl Gebäude | | Prozentualer Anteil [%] | |
|---|----------------------|----------------|----------------------------|----------------|
| | L _{Aeq,24h} | L _N | L _{Aeq,24h} | L _N |
| 80-85 | 4 | 4 | 0,8 | 0,8 |
| 75-80 | 5 | 6 | 1,0 | 1,2 |
| 70-75 | 5 | 3 | 1,0 | 0,6 |
| 65-70 | 20 | 16 | 4,0 | 3,2 |
| 60-65 | 36 | 25 | 7,2 | 5,0 |
| < 60 | 430 | 446 | 86,0 | 89,2 |
| Summe | 500 ¹⁷ | 500 | 100 | 100 |

¹⁷ Teilweise wurden mehrere Personen in einem Gebäude befragt, sodass die Summe der Gebäudeanzahl nicht mit der Summe der Befragten übereinstimmt. Wenn die Befragten in demselben Stockwerk befragt wurden, taucht das Gebäude in der Tabelle nur einmal auf, sonst wurde es zweimal aufgeführt.

Abbildung 13 Anzahl der Gebäude je Pegelklasse, Hauptbefragung, Perimeter 2

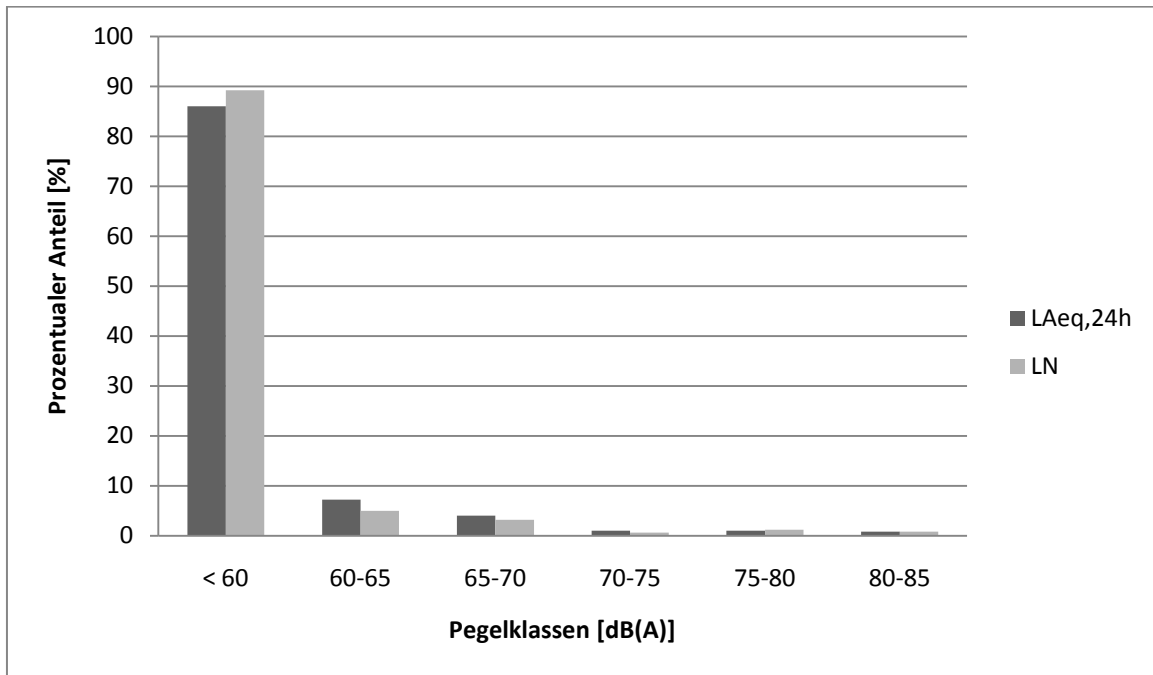
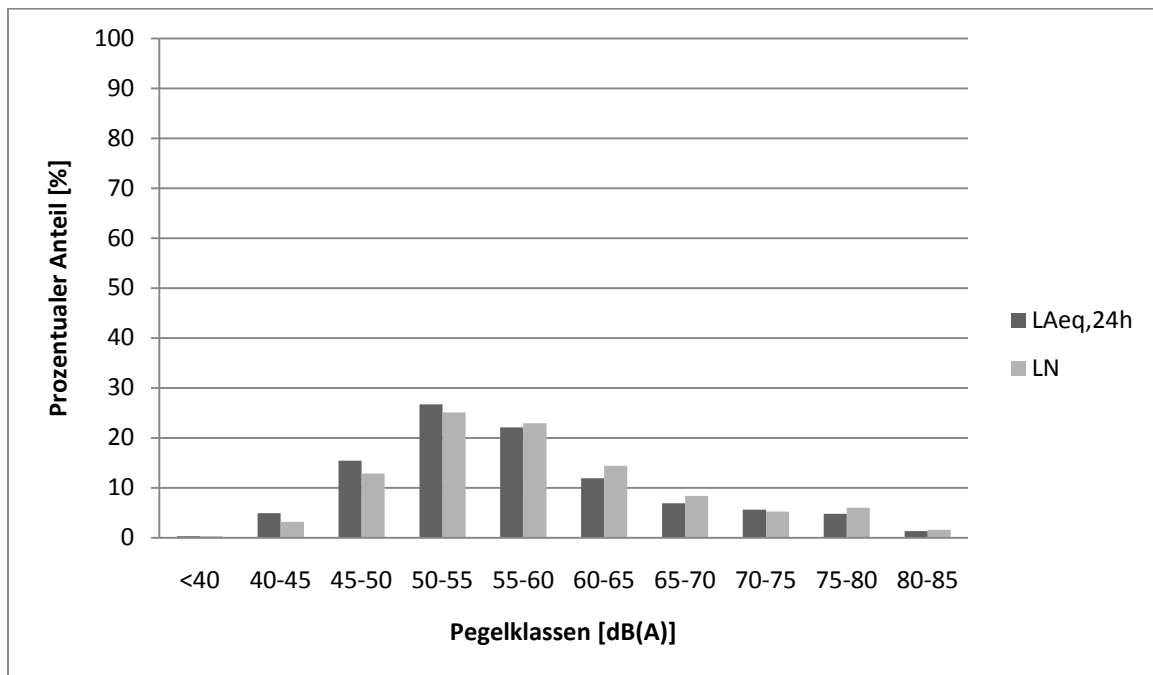


Tabelle 5 Anzahl der Gebäude je Pegelklasse, Hauptbefragung, Gesamt

| Pegelbereich (maximaler Pegel am maßgeblichen Stockwerk) [dB(A)] | Anzahl Gebäude | | Prozentualer Anteil [%] | |
|---|----------------------|----------------|----------------------------|----------------|
| | L _{Aeq,24h} | L _N | L _{Aeq,24h} | L _N |
| 80-85 | 13 | 16 | 1,3 | 1,6 |
| 75-80 | 48 | 60 | 4,8 | 6,0 |
| 70-75 | 56 | 52 | 5,6 | 5,3 |
| 65-70 | 69 | 84 | 6,9 | 8,4 |
| 60-65 | 119 | 144 | 11,9 | 14,4 |
| 55-60 | 220 | 228 | 22,1 | 22,9 |
| 50-55 | 266 | 250 | 26,7 | 25,0 |
| 45-50 | 154 | 128 | 15,4 | 12,8 |
| 40-45 | 49 | 32 | 4,9 | 3,2 |
| <40 | 3 | 3 | 0,3 | 0,3 |
| Summe | 997 | 997 | 100 | 100 |

Abbildung 14 Anzahl der Gebäude je Pegelklasse, Hauptbefragung, Gesamt

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass insbesondere oberhalb der Pegelklasse von 60-65 dB(A) wenig Betroffene befragt worden sind. Die Verteilung der Betroffenen nach Pegelklassen ist eher repräsentativ für die Schienenverkehrslärmbelastung im gesamten Untersuchungsgebiet, sie nimmt weniger auf die Spezifik des Mittelrheintals mit seinen in der unmittelbaren Umgebung der Schienenstrecken sehr hohen Pegeln Bezug. Eine Dosis-Wirkungskurve auf dieser Basis würde sich in erster Linie auf Belästigungsdaten im Pegelbereich von 45-65 dB(A) stützen, 76% der Gebäude sind von $L_{Aeq,24h}$ -Pegeln in diesem Pegelbereich betroffen.

Aus diesem Grund wurde im Auftrag der rheinland-pfälzischen und hessischen Umweltministerien eine Nachbefragung in die Wege geleitet. Erst mit mehr Daten im oberen Belastungsbereich kann die Dosis-Wirkungskurve auch dort mit einer guten Genauigkeit ermittelt werden.

3.5 Nachbefragung

Im Rahmen der Nachbefragung sollten nur Personen befragt werden, die 24h-Pegeln über 60 dB(A) ausgesetzt sind, da die bisherige Verteilung zwar repräsentativ im Sinne der Einwohnerverteilung ist, aber noch nicht genügend Punkte im oberen Pegelbereich enthält.

Die Nachbefragung sollte daher, in Absprache mit der ZEUS GmbH und den Ministerien, nur im Perimeter 1 durchgeführt werden, da hier mehr Personen sehr hohen Pegeln durch Schienenverkehrslärm ausgesetzt sind als im Perimeter 2. Nur eine Nacherhebung im Perimeter 1 in den Pegelklassen über 60 dB(A), insbesondere auch für Pegel > 75 dB(A), kann in einer Stichprobe eine ausreichende Anzahl an Befragten liefern.

Im Rahmen der Nachbefragung wurden vom 27.07.2011 bis 12.08.2011 weitere 206 Personen befragt, 108 davon in der Pegelklasse 75-80 dB(A) ($L_{Aeq,24h}$).

Die Bestimmung der entsprechenden Gebäudepegel erfolgte analog zur Vorgehensweise in der Hauptbefragung.

Die Nachbefragung, zusammengefasst mit den Ergebnissen der Hauptbefragung, führte zu folgender Verteilung in den Pegelklassen im Perimeter 1:

Tabelle 6 Anzahl der Gebäude je Pegelklasse, Haupt- und Nachbefragung, Perimeter 1

| Pegelbereich (maximaler Pegel pro Gebäude) [dB(A)] | Anzahl Gebäude | | Prozentualer Anteil [%] | |
|---|----------------------|----------------|----------------------------|----------------|
| | L _{Aeq,24h} | L _N | L _{Aeq,24h} | L _N |
| 80-85 | 40 | 67 | 5,7 | 9,5 |
| 75-80 | 151 | 149 | 21,5 | 21,2 |
| 70-75 | 91 | 83 | 12,9 | 11,8 |
| 65-70 | 66 | 73 | 9,4 | 10,4 |
| 60-65 | 93 | 104 | 13,2 | 14,8 |
| < 60 | 262 | 227 | 37,3 | 32,3 |
| Summe | 703 | 703 | 100 | 100 |

Zur Erstellung der Dosis-Wirkungskurve stehen damit deutlich mehr befragte Personen (bzw. zugrundeliegende berücksichtigte Gebäude) in den Pegelbereichen über 60 dB(A), insbesondere über 75 dB(A) zur Verfügung. Insgesamt sind im Perimeter 1 nun 63% der in der Befragung berücksichtigten Gebäude 24h-Pegeln über 60 dB(A) ausgesetzt (vor der Nachbefragung waren es 47%), im Perimeter 2 sind es 14%.

Abbildung 15 Anzahl der Gebäude je Pegelklasse, Nachbefragung, Perimeter 1

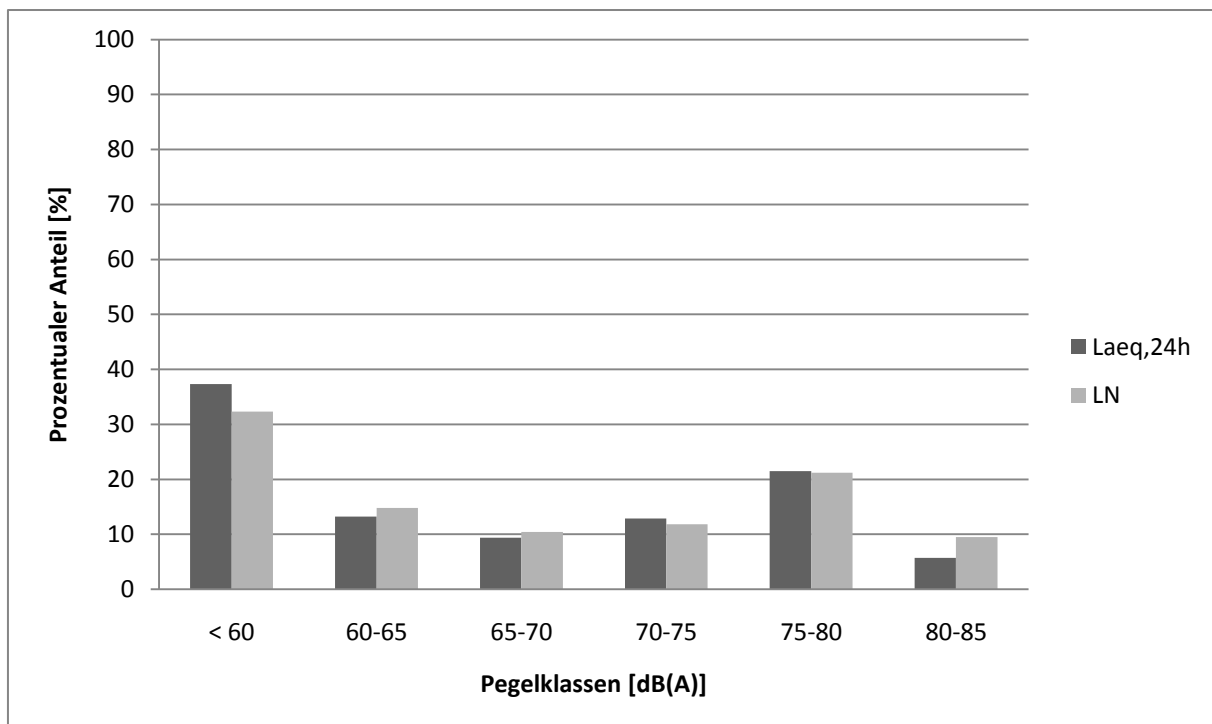
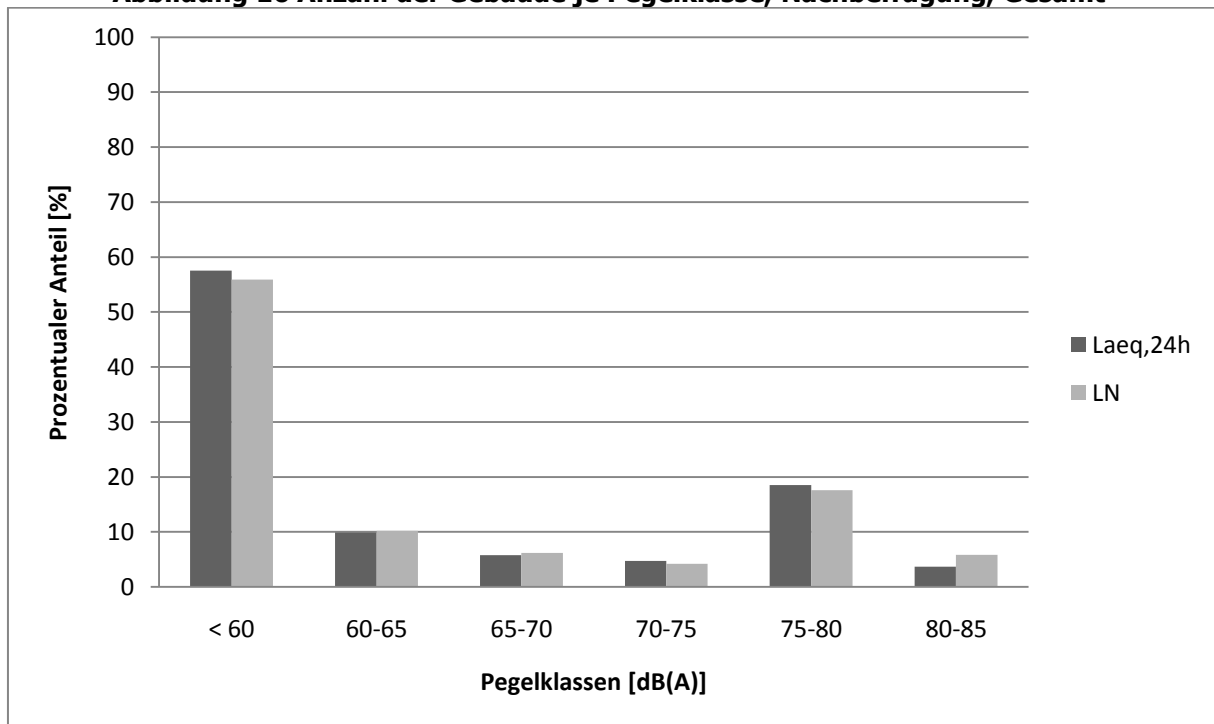


Tabelle 7 Anzahl der Gebäude je Pegelklasse, Haupt- und Nachbefragung, Gesamt

| Pegelbereich (maximaler Pegel pro Gebäude) [dB(A)] | Anzahl Gebäude | | Prozentualer Anteil [%] | |
|---|----------------|-------|----------------------------|-------|
| | $L_{Aeq,24h}$ | L_N | $L_{Aeq,24h}$ | L_N |
| 80-85 | 44 | 70 | 3,7 | 5,8 |
| 75-80 | 223 | 212 | 18,5 | 17,6 |
| 70-75 | 56 | 50 | 4,7 | 4,7 |
| 65-70 | 69 | 75 | 5,7 | 6,2 |
| 60-65 | 119 | 123 | 9,9 | 10,2 |
| < 60 | 692 | 673 | 57,5 | 55,9 |
| Summe | 1.203 | 1.203 | 100 | 100 |

Abbildung 16 Anzahl der Gebäude je Pegelklasse, Nachbefragung, Gesamt



4 Dosis-Wirkungskurve für Belästigung

Auf der Grundlage der Befragungsergebnisse (Verwendung der Ergebnisse der Haupt- und der Nachbefragung, Berücksichtigung der Daten beider Perimeter) (Schreckenberg) und der stockwerksgenauen Fassadenpegel im maßgeblichen Stockwerk ohne Zu- und Abschläge ($L_{Aeq,16h} = L_{Tag}$) hat die ZEUS GmbH mittels logistischer Regression eine Dosis-Wirkungskurve für den Tagbereich erstellt (siehe Abbildung 17), die durch folgende Gleichung beschrieben wird:

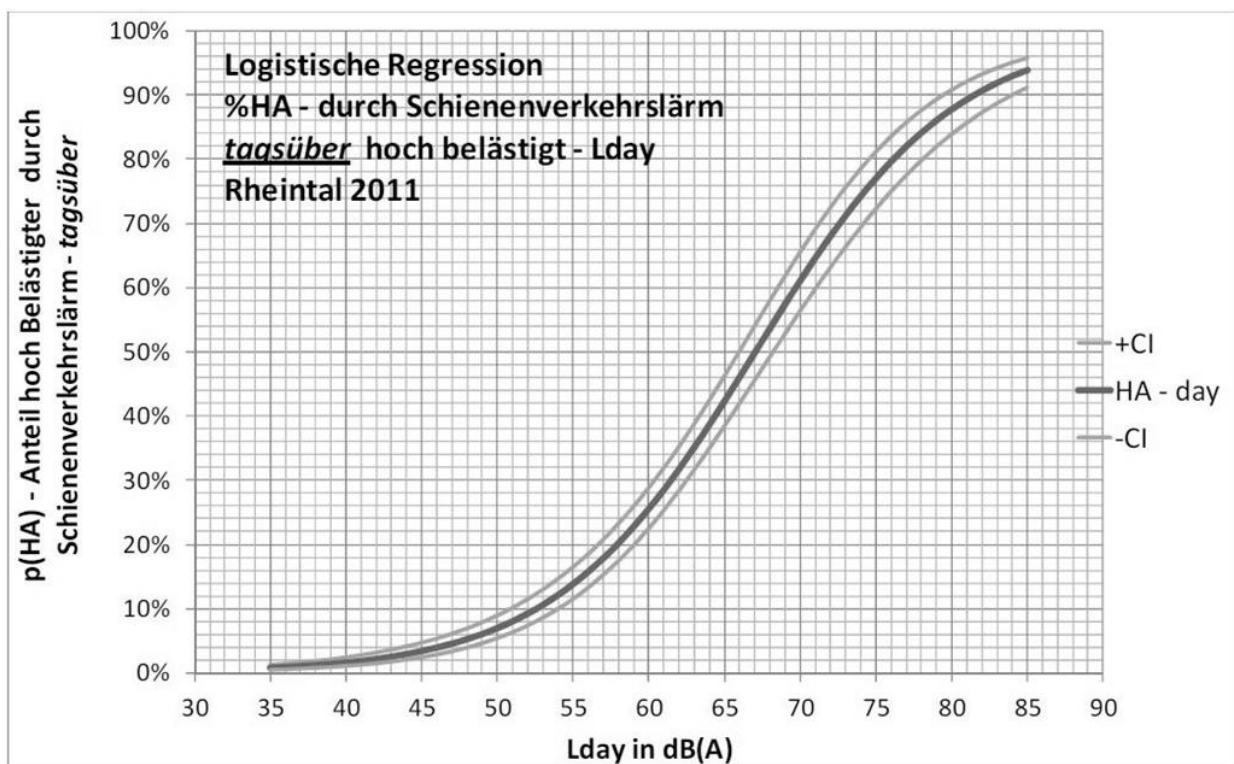
$$HA = \frac{e^{(-10,191 + L_{Tag} \cdot 0,152)}}{(1 + e^{-10,191 + L_{Tag} \cdot 0,152})} \quad (4-1)$$

HA Prozentanteil der durch Schienenlärm hoch Belästigten (*highly annoyed*) im Tageszeitraum (06.00 bis 22.00 Uhr)

L_{Tag} Tagpegel, äquivalenter Dauerschallpegel für den Zeitraum von 06.00 bis 22.00 Uhr

In der nachfolgenden Abbildung ist dieser Zusammenhang graphisch dargestellt.

Abbildung 17 Dosis-Wirkungskurve (Quelle: (Schreckenberg, 2011))¹⁸

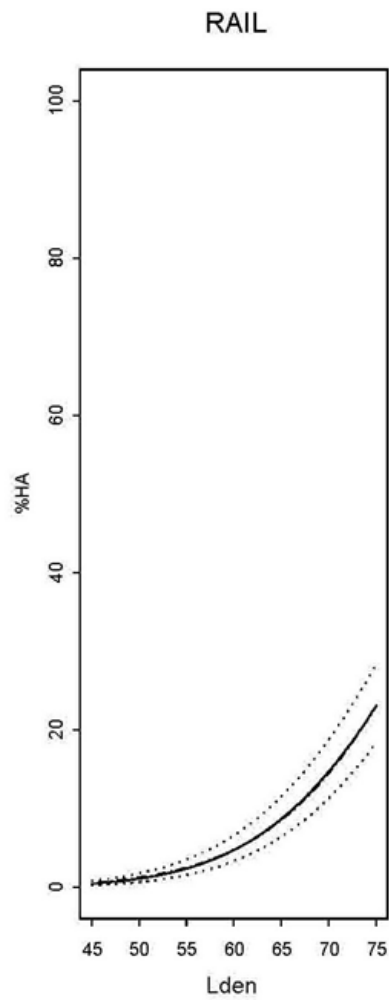


Diese Dosis-Wirkungskurve weist bei etwa 67 dB(A) bereits einen Anteil von 50 % Hochbelästigten auf; 25 % wird bei 60 dB(A) erreicht. Sie zeigt damit eine für das Untersuchungsgebiet deutlich höhere Belästigung als nach den von Miedema (Miedema & Oudshoorn,

¹⁸ -CI / +CI bezeichnet die untere bzw. obere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls.

2001) angegebenen Dosis-Wirkungskurven für Schienenverkehr zu erwarten wäre. Die unterschiedlichen Metriken können diese starken Unterschiede nicht erklären.

Abbildung 18 Anteil Hochbelästigter durch Schienenlärm (Miedema & Oudshoorn, 2001)



5 Schienenlärminde Belästigung

Mit der für den Untersuchungsraum spezifischen Dosis-Wirkungsfunktion kann der Schienenlärminde für den Tag ermittelt werden. Der Index wird für jeden Perimeter sowie separat für jede im Perimeter liegende Gemeinde bestimmt.

5.1 Berechnung

Die Berechnung des Schienenlärminde für den Tag, des „Belästigungsindex“, erfolgt in Anlehnung an die in der Machbarkeitsstudie (Giering & Augustin, 2010) entwickelte Gleichung (7-6). Mithilfe dieser Gleichung soll ein Indexwert berechnet werden können, der die Zahl der durch Schienenlärm belästigten Personen im Tageszeitraum (von 06-22 Uhr) in Abhängigkeit vom $L_{Aeq,16h,i}$ in dem durch den Perimeter abgegrenzten Gebiet wiedergibt. Um Veränderungen in der Einwohnerzahl Rechnung tragen zu können, wird der Schienenlärminde auf diese normiert.

Die Bestimmung der % HA und damit des Indexes erfolgte abweichend von der Machbarkeitsstudie jedoch nicht mit den stockwerksweisen Fassadenpegel, sondern es wurde jeweils der maximale Wert der pro Stockwerk berechneten Fassadenpegel zugrunde gelegt¹⁹. Die Berechnung des Schienenlärminde für den Tageszeitraum erfolgte nach (5-1):

$$SLI_B = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_G} N_{G,i} \cdot \frac{\%HA_i}{100} \quad (5-1)$$

| | |
|----------------|---|
| SLI_B | Schienenlärminde für die Zahl der hoch Belästigten im Tageszeitraum für ein mittleres Jahr |
| $N_{G,i}$ | Anteilige Anzahl der Einwohner, die dem Stockwerk i eines Wohngebäudes zugeordnet ist |
| N_G | Gesamtzahl aller betrachteten Stockwerke aller Wohngebäude |
| N | Gesamteinwohner im betrachteten Perimeter / in der betrachteten Gemeinde |
| $\%HA_i$ | Prozentanteil der durch Schienenlärm hoch Belästigten (<i>highly annoyed</i>) im Tageszeitraum (06.00 bis 22.00 Uhr) ermittelt mit dem maximalen $L_{Aeq,16h}$ im Stockwerk i |
| $L_{Aeq,16hi}$ | Maximaler Werte des äquivalenten Dauerschallpegels im Tageszeitraum im Stockwerk i. |

Die Einwohner des Gebäudes wurden anteilig den Stockwerken zugeordnet. Mit dem maximalen Wert des pro Stockwerk berechneten Fassadenpegels $L_{Aeq,16hi}$ wurde der Prozentanteil der hoch Belästigten % HA_i (in diesem Stockwerk) ermittelt. Dieser wurde mit der anteiligen Einwohnerzahl $N_{G,i}$ multipliziert. Es wurde dann über alle Stockwerke des Gebäudes und über alle Wohngebäude summiert. Danach erfolgte die Normierung auf die Gesamteinwohnerzahl.

Die akustischen Berechnungen erfolgten DGM-weise. Um die Berechnungen zu beschleunigen, wurden, abweichend von den Einstellungen für die Pegelberechnungen für die befragten Gebäude, der Suchradius und die Toleranz bei den Rechenlaufeinstellungen verändert (s.

¹⁹ Dieses Vorgehen ist legitim, da zum einen keine Daten über das Wohnungsnutzungsverhalten oder die Lage der hauptsächlich im Tagzeitraum genutzten Räume vorlagen und zum anderen der Index nicht als absolute Größe, sondern als Bezugsgröße, die die Wirksamkeit von Lärminderungsmaßnahmen widerspiegeln soll, aussagekräftig ist.

Tabelle 9). Diese vorgenommenen Änderungen haben einen Einfluss von weniger als 0,1 dB auf die Ergebnisse (Pegel).

Die Berechnung der Gebäudelärmkarten für die Ermittlung des Index erfolgte in der SoundPLAN Version 7.1. Diese ist, im Vergleich zur Version 7.0, hinsichtlich der Rechenlaufzeiten weiter optimiert. Da diese Version auch die Programmerweiterungen zur Berechnung der Vorbeifahrtspegel für die Berechnung der Aufwachreaktionen enthält, wurden die akustischen Berechnungen für beide Indices mit dieser Version durchgeführt. Mit der Umstellung auf die Version 7.1 wurde auch die Entscheidung getroffen, alle weiteren Berechnungen gekachelt vorzunehmen.

Die Einrichtung eines Kachelprojektes ist bei sehr großen Projekten wie dem vorliegenden von Vorteil, da das Projekt an Übersichtlichkeit gewinnt und Lade-, Bearbeitungs- und Rechenzeiten verkürzt werden.

Tabelle 8 SoundPLAN-Rechenlaufeinstellungen Gebäudelärmkarten, Index Belästigung

| | |
|--|---------------------------------|
| Reflexionsordnung | 1 |
| Maximaler Suchradius | 3.000 m |
| Maximale Reflexionsentfernung | 200 m |
| Maximaler Reflexionsabstand zur Quelle | 50 m |
| Toleranz | 0,5 dB |
| Filter | dB(A) |
| Richtlinie | Schall 03 |
| Bewertungstyp | Leq |
| Zeitbereiche | 06-18 Uhr, 18-22 Uhr, 22-06 Uhr |
| Ein Aufpunkt in der Mitte der Fassade | |
| Kachelung | gekachelt |

Die gebäudeweise Indexberechnung erfolgte automatisiert mit Hilfe der „Experttabelle“ in SoundPLAN auf der Grundlage der Pegel und des hinterlegten Dosis-Wirkungszusammenhangs. Diese Ergebnisse wurden in Excel importiert. Hier wurde der Index sowohl für jede Gemeinde separat als auch für jeden Perimeter berechnet. Bei der perimeterweisen Berechnung mussten die Gemeinden Bingen und Rüdesheim mit den Perimetergrenzen verschnitten werden. Im Vergleich zu dem jeweiligen gemeindebezogenem Index weisen die Indices der Perimeter daher eine unterschiedliche Gesamteinwohnerzahl auf.

5.2 Ergebnisse

5.2.1 Auswertung der Belasteten

Tabelle 9 und 10 geben zunächst einen Überblick über die Zahl der Belasteten je Pegelklasse für Perimeter 1 und 2 an. In der Abbildung 19 werden die absoluten sowie prozentualen Zahlen getrennt nach Perimeter dargestellt²⁰. In beiden Perimetern sind die meisten Belasteten in den Pegelklassen von 50-60 dB(A) vorhanden. Aus Abbildung 19 lässt sich jedoch erkennen, dass im prozentualen Vergleich der Perimeter 1 gegenüber Perimeter 2 deutlich verschoben ist, anteilig gibt es mehr Belastete in den oberen Pegelklassen als im Perimeter 2. Dies bestätigt die Eingangsvermutung bei der Festlegung der Perimeter: Im Perimeter 2 herrscht eine vollkommen andere Belastungssituation als im Perimeter 1, sodass eine Trennung beider Perimeter sich im Nachhinein nochmals bestätigte.

Tabelle 9 Anzahl der Belasteten am Tag pro Pegelklasse, maximaler Gebäudepegel, Perimeter 1 und 2

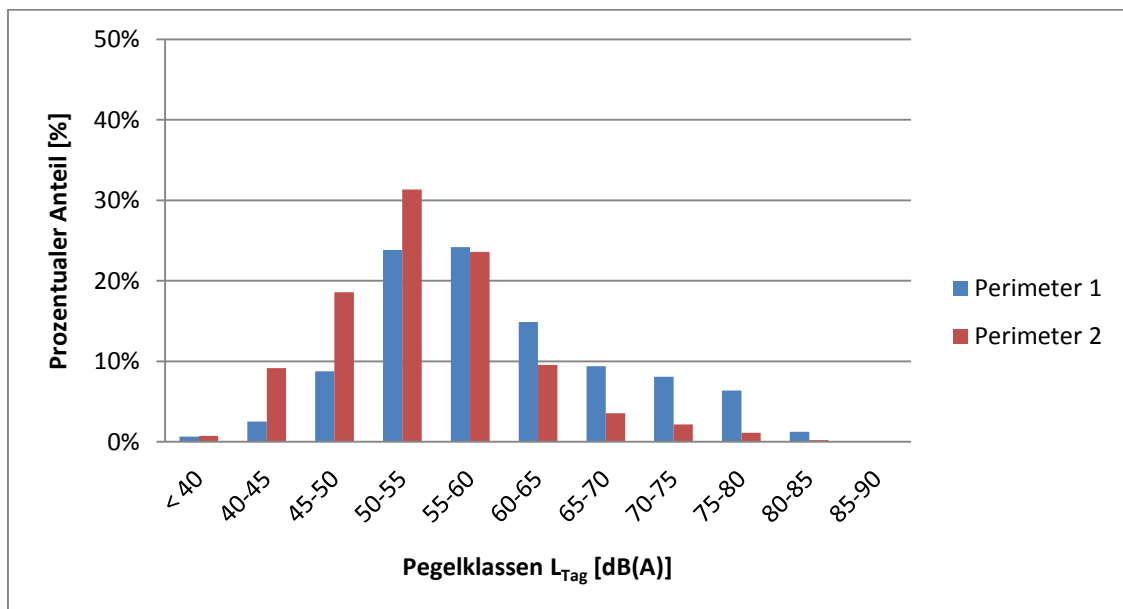
| Pegelbereich (maximaler Gebäudepegel L_{Tag}) [dB(A)] | Anzahl Belastete am Tag | Prozentualer Anteil [%] |
|--|--------------------------------|------------------------------------|
| < 40 | 890 | 0,7 |
| 40-45 | 9.015 | 7,1 |
| 45-50 | 19.758 | 15,5 |
| 50-55 | 36.897 | 29,0 |
| 55-60 | 30.243 | 23,8 |
| 60-65 | 14.258 | 11,2 |
| 65-70 | 6.830 | 5,4 |
| 70-75 | 5.115 | 4,0 |
| 75-80 | 3.516 | 2,8 |
| 80-85 | 670 | 0,5 |
| 85-90 | 12 | 0,0 |
| Summe | 127.204 | 100 |

²⁰ Die Abbildungen und die Tabelle ordnet die Bewohner eines Gebäudes dem lautesten äquivalentem Dauerschallpegel im Tagbereich zu, also dem $L_{\text{aeq}, 16\text{h}}$ bzw. dem unbewertetem L_d .

Tabelle 10 Anzahl der Belästigten am Tag pro Pegelklasse, maximaler Gebäudepegel, Perimeter 1 und 2, relative und absolute Zahlen

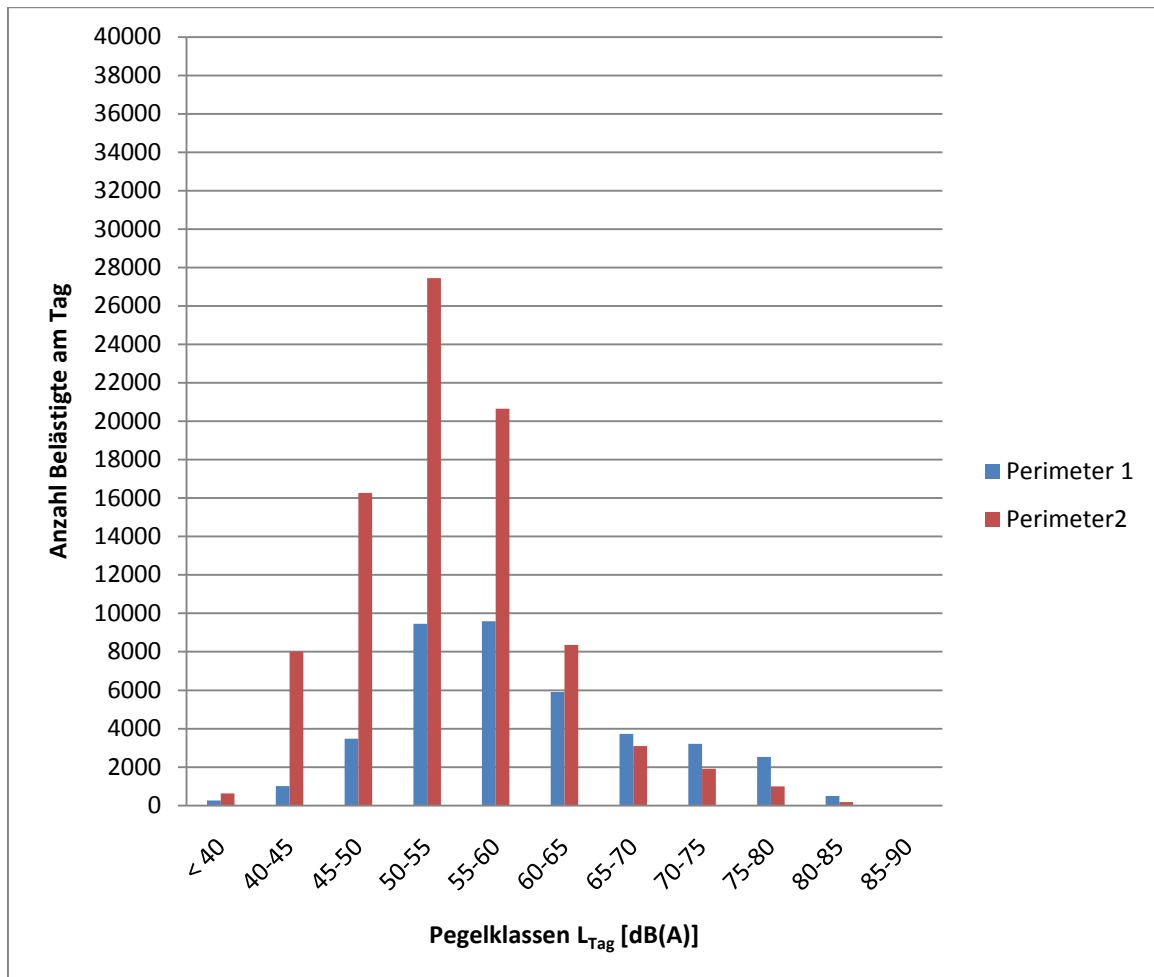
| Pegelbereich (maximaler Gebäudepegel L_{Tag}) [dB(A)] | Anzahl Belastete am Tag | | Prozentualer Anteil [%] | |
|---|-------------------------|-----------------|----------------------------|-------------|
| | Perimeter 1 | Perimeter 2 | Perimeter 1 | Perimeter 2 |
| < 40 | 257 | 633 | 0,7 | 0,7 |
| 40-45 | 1.008 | 8.007 | 2,5 | 9,2 |
| 45-50 | 3.482 | 16.276 | 8,8 | 18,6 |
| 50-55 | 9.454 | 27.443 | 23,8 | 31,4 |
| 55-60 | 9.593 | 20.650 | 24,2 | 23,6 |
| 60-65 | 5.903 | 8.355 | 14,9 | 9,5 |
| 65-70 | 3.731 | 3.099 | 9,4 | 3,5 |
| 70-75 | 3.211 | 1.904 | 8,1 | 2,2 |
| 75-80 | 2.525 | 991 | 6,4 | 1,1 |
| 80-85 | 498 | 172 | 1,3 | 0,2 |
| 85-90 | 4 | 8 ²¹ | 0,0 | 0,0 |
| Summe | 39.666 | 87.538 | 100 | 100 |

Abbildung 19 Anzahl der Belasteten am Tag pro Pegelklasse, maximaler Gebäudepegel, Perimeter 1 und 2 getrennt, prozentual



²¹ Die acht Einwohner gehören zu vier Gebäuden in Eltville, die alle in unmittelbarer Nähe an der Schienenstrecke liegen.

Abbildung 20 Anzahl der Belasteten am Tag pro Pegelklasse, maximaler Gebäudepegel, Perimeter 1 und 2 getrennt, absolute Zahlen

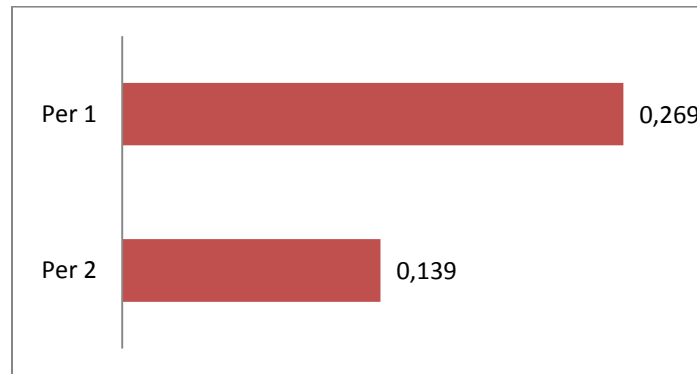


5.2.2 Schienenlärmindex Belästigung

Die Ergebnisse zu den Berechnungen des Schienenlärmindex für den Tageszeitraum sind in folgenden Abbildungen zusammengestellt.

In der Abbildung 21 ist der Belästigungsindex für den Tag für die beiden Perimeter getrennt graphisch dargestellt; für den Perimeter 1, der das Gebiet von Koblenz bis Bingen umfasst sowie für den Perimeter 2, der den Bereich von Bingen bis Mainz beinhaltet.

Abbildung 21 Index Belästigung, nach Perimeter



Der Schienenlärmindex für den Tag kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen, je höher der Wert, desto höher ist die (relative) Zahl der hoch Belästigten.

Für den Perimeter 1 ist der Schienenlärmindex fast doppelt so hoch wie für den Perimeter 2, die relative Zahl der hoch Belästigten ist im Perimeter 1 also deutlich höher. Die Abbildungen Abbildung 22 und 24 geben den Index für die einzelnen Gemeinden wieder, die hessischen Gemeinden sind hellrot, die rheinland-pfälzischen dunkelrot markiert.

In der Abbildung 25 sind die Indexwerte für alle Gemeinden farblich graphisch dargestellt.

Abbildung 22 Index Belästigung, nach Gemeinden - alphabetisch sortiert

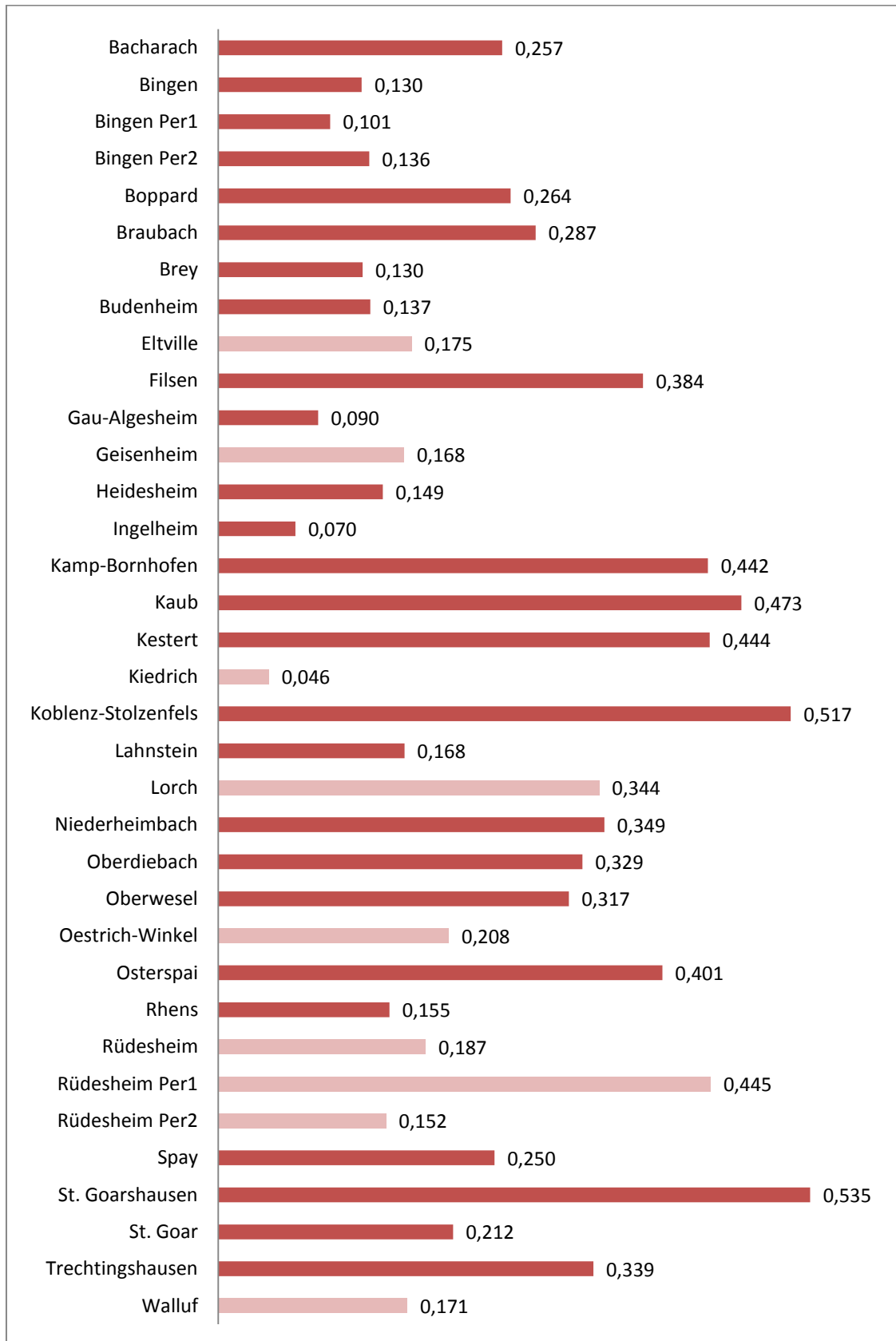


Abbildung 23 Index Belästigung, nach Gemeinden – nach Index sortiert

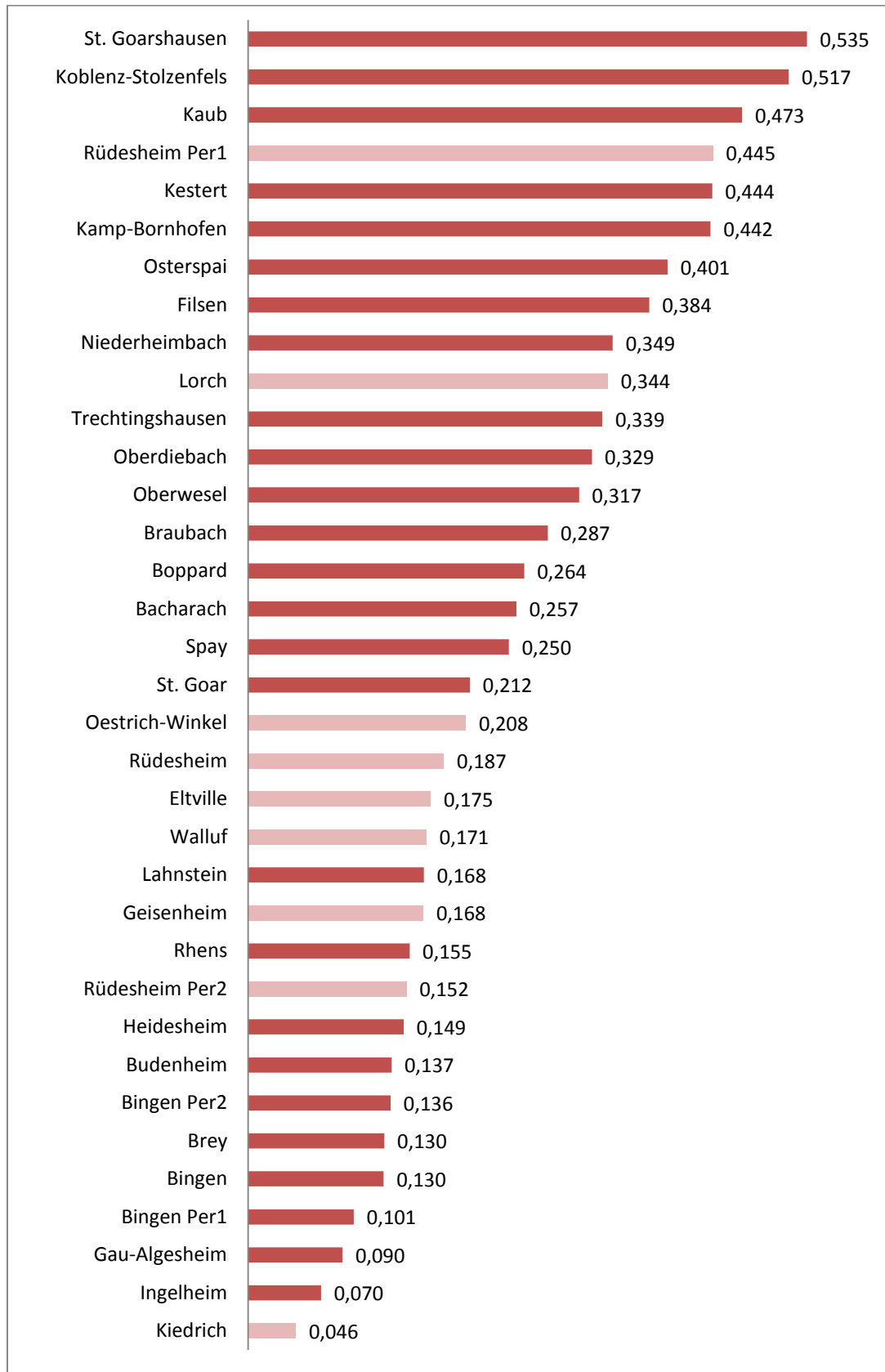
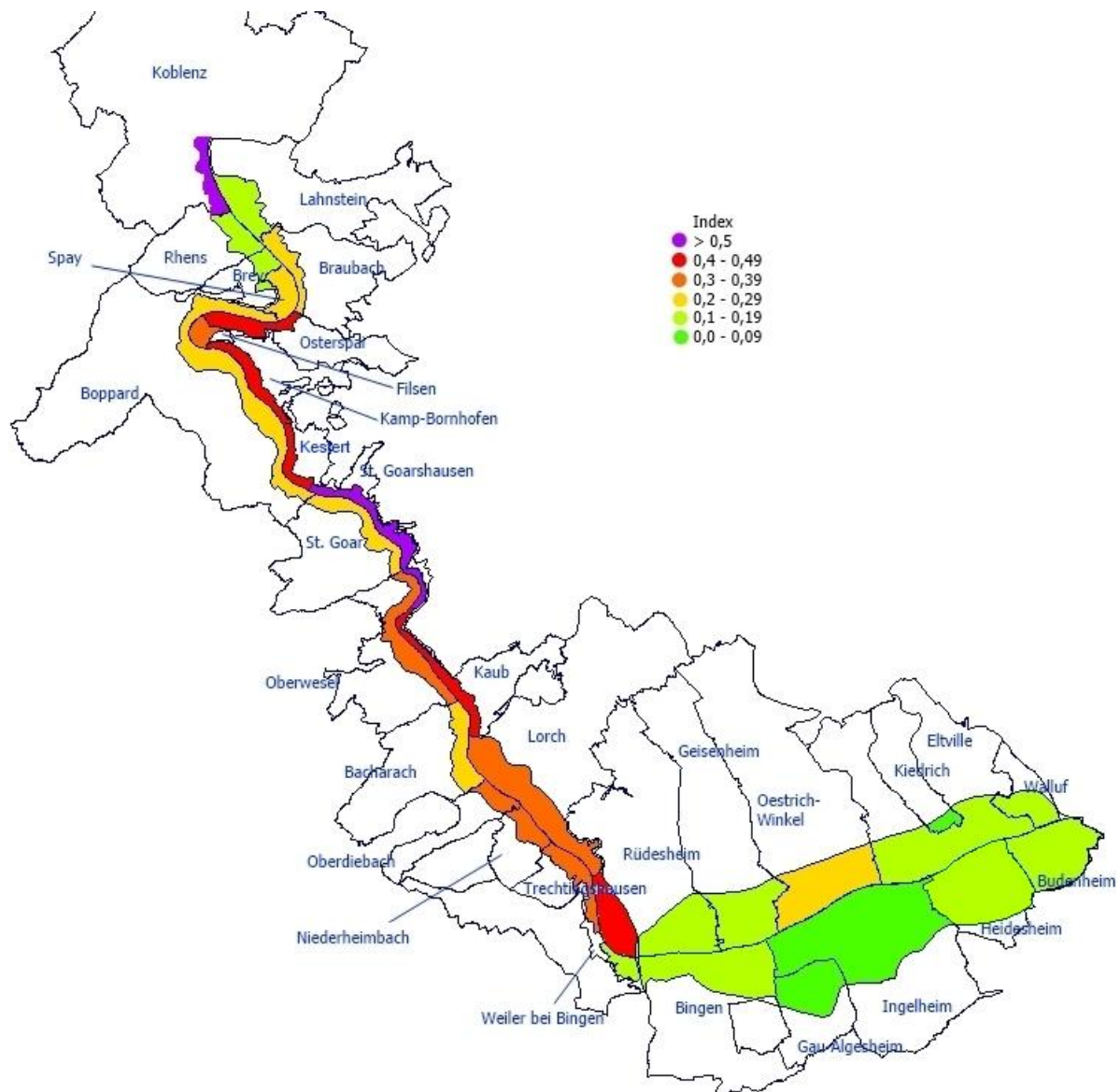


Abbildung 24 Index Belästigung – Karte



5.3 Diskussion

Im Folgenden soll versucht werden, eine erste Interpretation und Wertung der Berechnungsergebnisse zum Belästigungsindex vorzunehmen. Es muss betont werden, dass der erstmalig berechnete Indexwert als Größe zur Beschreibung der derzeitigen Lärmbelastungssituation (insbesondere auch wegen der Annahmen und Pauschalisierungen, die in seine Berechnung eingehen) nur bedingt aussagekräftig ist. Veränderungen der Lärmsituation, bspw. infolge der Durchführung von Lärminderungsmaßnahmen, werden durch Änderungen dieser Größe widerspiegelt.

- **Spannweite des Indexes**

Der Index kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen, der höchste Wert beträgt 0,535 (St. Goarshausen), der niedrigste Wert liegt bei 0,046 (Kiedrich)²².

Vergleiche des gemeindebezogenen Indexes oder gar die Aufstellung eines Rankings erachten die Autorinnen als nicht möglich, da sich, wie nachfolgend noch erläutert wird, die Gemeinden untereinander, in Bezug auf ihre topographische und damit bedingt auch bauliche Situation, deutlich unterscheiden. Die oben angeführte Auflistung der Gemeinden nach Indexwert sowie die folgenden Erläuterungen und Vergleiche haben ausschließlich beschreibenden Charakter.

- **Durch den Perimeter geschnittene Gemeinden**

Keine der betrachteten Gemeinde liegt vollständig innerhalb des jeweiligen Perimeters, alle Gemeinden werden durch den Perimeter geschnitten. Koblenz ist aufgrund des topographischen Abbruchkriteriums bspw. nur mit dem Ortsteil Stolzenfels berücksichtigt, der Schienenlärminde von 0,517 bezieht sich ausdrücklich nicht auf die gesamte Stadt (der Indexwert würde in diesem Fall weitaus geringer ausfallen).

Wenn somit der Index bspw. der Gemeinde Kaub angegeben wird, ist nur der Teil von Kaub berücksichtigt, der innerhalb des Perimeters liegt.

- **Die Gemeinden der rechten Rheinseite weisen höhere Indices auf als die Gemeinden der linken Rheinseite**

Die Gebäudepegel und damit auch der Index sind wesentlich durch die Anzahl und Art der Züge bestimmt, die auf der jeweiligen Rheinseite verkehren. Während auf der linken Rheinseite die Anzahl der Personen- und Güterzüge annähernd gleich ist, fahren auf der rechten Rheinseite überwiegend die - im Vergleich zu Personenzügen deutlich lauter - Güterzüge. Die Lärmbelastung und damit der Schienenlärminde sind deshalb in den rechtsrheinischen Gemeinden höher. Ein Beispiel für diese Aussage sind die sich in großen Teilen gegenüberliegenden Gemeinden St. Goarshausen (Index 0,535) und Boppard (Index 0,264).

- **Unterschiede im Index bei Gemeinden auf der gleichen Rheinseite**

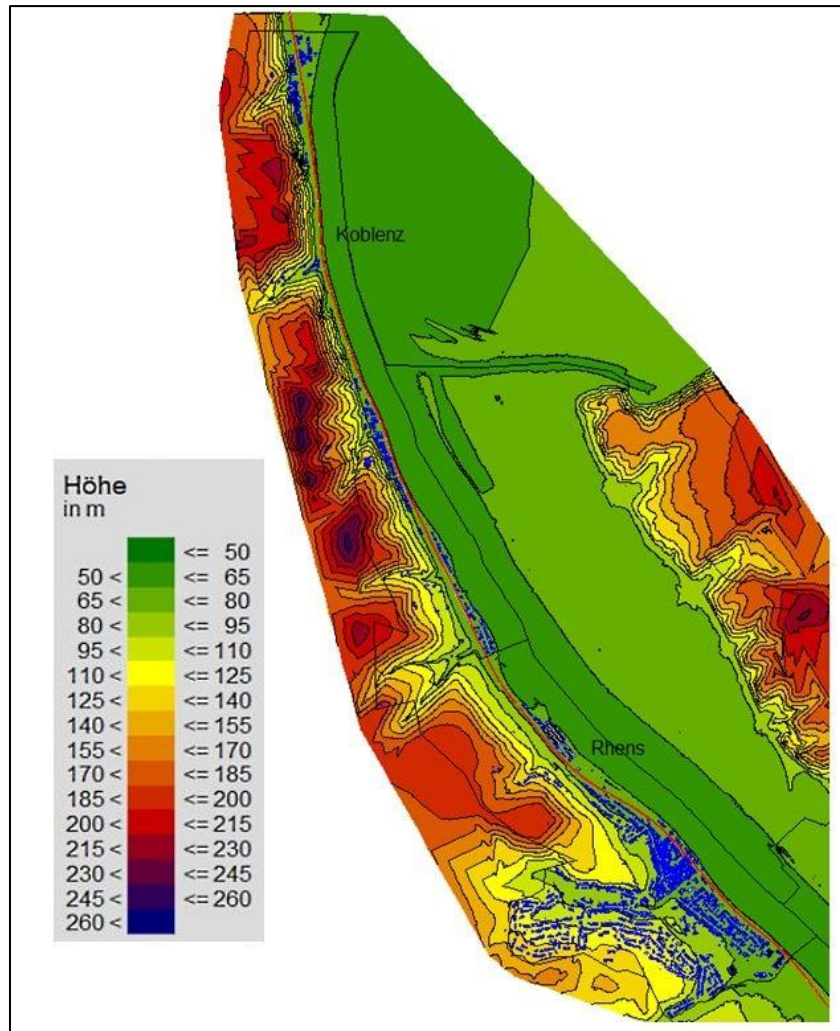
Die eher pauschale Unterscheidung in Gemeinden auf der rechten Rheinseite (tendenziell hohe Indexe) und Gemeinden auf der linken Rheinseite (tendenziell niedrige bis mittlere Indexe) auf der Grundlage der Zugbelegung trifft allerdings nicht überall zu.

So weisen die direkt aneinandergrenzenden Gemeinden Koblenz-Stolzenfels und Rhens auf der linken Rheinseite signifikant unterschiedliche Indexwerte auf: Koblenz-Stolzenfels mit dem zweithöchsten Index insgesamt von 0,517, Rhens mit einem deutlich niedrigerem Index von 0,155. Um diese Werte korrekt zu interpretieren, muss die Lage der Gebäude um die Schienenstrecke mit betrachtet werden (vgl. Abbildung 25). In Koblenz-Stolzenfels liegen die Gebäude überwiegend parallel zur Schienenstrecke; die Bebauung wird durch die Berghänge und den Rhein seitlich begrenzt. Dadurch sind größere Entfernungen zwischen den Gebäuden und der Schienenstrecke nicht möglich.

²² Dass bspw. Kiederich einen so geringen Index aufweist, ist dadurch zu erklären, dass die Schienenstrecke nicht durch die Gemeinde verläuft.

In Rhens erlaubt die Topographie auch eine tendenziell eher bauchige oder tropfenförmige Bebauungsform um die Schiene herum, wodurch weniger Gebäude in unmittelbarer Nähe der Schienenstrecke liegen. Die Fassadenpegel in größerer Entfernung von der Schienenstrecke und damit auch der gebäudebezogene Schienenlärmindex sind niedriger, wodurch auch der gemeindebezogene Index bei gleicher Zugbelegung niedriger ist als in Koblenz.

Abbildung 25 Lage der Gebäude in den Gemeinden Koblenz-Stolzenfels und Rhens



- **Deutlich unterschiedliche Indexwerte für Perimeter 1 und Perimeter 2**

Die perimeterbezogene Auswertung zeigt, dass die Belästigungssituation am Tag im Perimeter 1 (Mittelrheintal) deutlich höher ist als im Perimeter 2 (Rheingau / Rheinhessen). Auch die gemeindebezogene Auswertung bestätigt diese Aussage; die Indexwerte der Gemeinden im Rheingau / Rheinhessen liegen alle unterhalb des Mittelwertes von 0,256.

Dieser Unterschied kommt in erster Linie durch die deutlich unterschiedlichen Perimeter zustände: Zur Abgrenzung des Perimeters 2 konnte nicht auf ein topographisches Abbruchkriterium wie für Perimeter 1 zurückgegriffen werden, da die für das Mittelrheintal charakteristischen Berghänge dort fehlen. Die Schallausbreitung erfolgt - bei vergleichbarer Emission - in eine größere Fläche.

Deutlich wird dieser Unterschied in den beiden folgenden Abbildungen im gleichen Maßstab: Abbildung 27 zeigt das Digitale Geländemodell für den Perimeter 2, deutlich sichtbar sind die eher flach ansteigenden Hügel nördlich und südlich der Schienenstrecke. Im Gegensatz dazu sind in der Abbildung 26 die steil ansteigenden Berghänge westlich und östlich der Schienenstrecke erkennbar.

Aus dieser vollkommen anderen topographischen Situation ergibt sich eine andere Bauungsweise im Perimeter 2 (eher großflächig um die Schienenstrecke herum) und damit eine andere Betroffenheitsverteilung (weniger Personen sind hohen Pegeln ausgesetzt).

Die Indices der einzelnen Gemeinden, aber auch der beiden Perimeter, sollten daher nicht miteinander verglichen werden. Aus demselben Grund wurde auch kein Gesamtindex für beide Perimeter ausgewiesen.

Abbildung 26 DGM-Beispiel für den Perimeter 1 - Bacharach bis Bingen

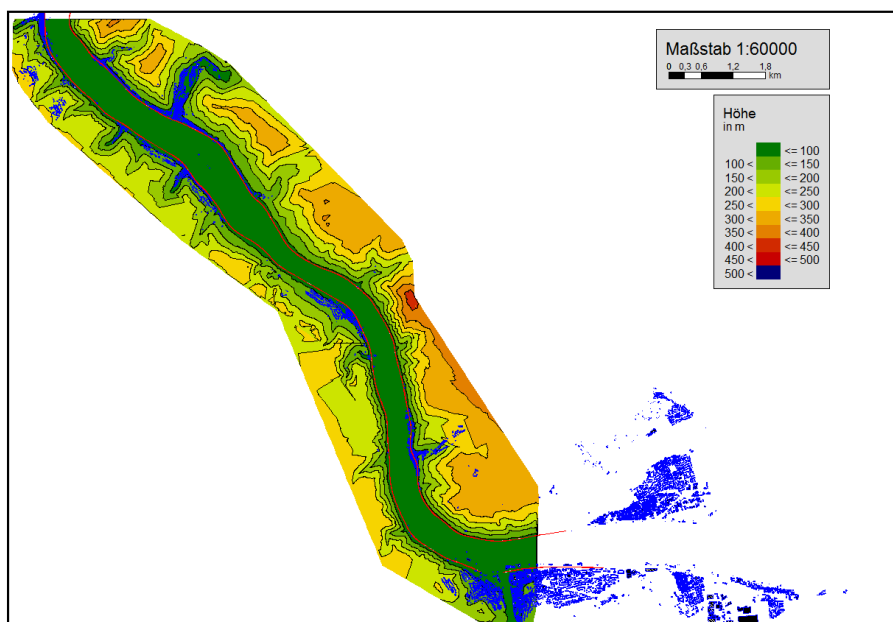
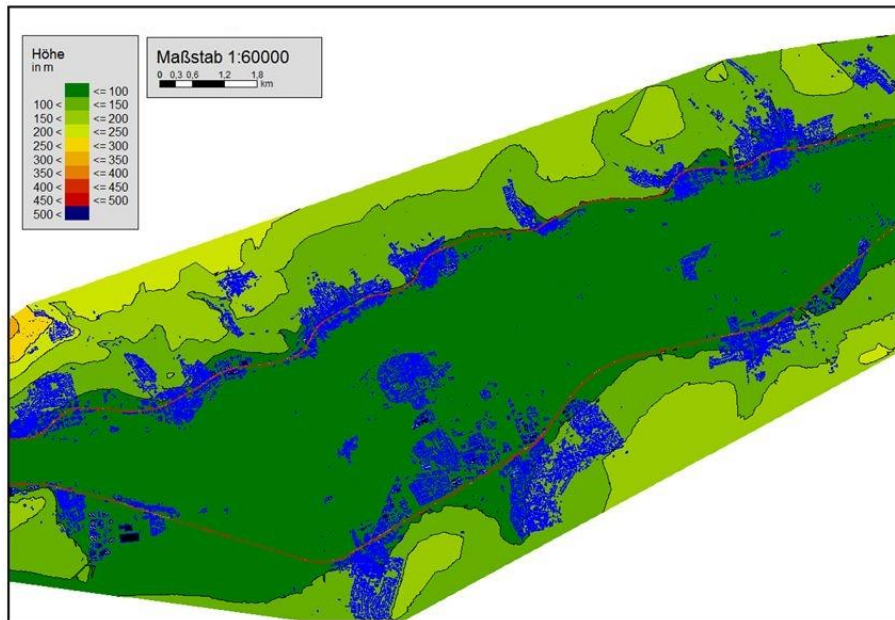


Abbildung 27 DGM-Beispiel für den Perimeter 2 – Bingen bis Heidesheim



- **Die Gemeinden Bingen und Rüdesheim liegen in beiden Perimetern**

Die Festlegung der Grenzen des Perimeters 1, des in der Machbarkeitsstudie vorgeschlagenen Untersuchungsbereichs, erfolgte in erster Linie anhand der Höhenzüge, nur ergänzend dazu wurden die Rasterlärnkarten des EBA und die Gemeindegrenzen herangezogen. Aufgrund dieses Verfahrens wurde der Perimeter für das eigentliche Mittelrheintal nur bis zum Ende der Höhenzüge, also bis zu der Nahemündung in Bingen, festgelegt. Durch diese Festlegung wurden bei der Erweiterung des Untersuchungsraums um den Perimeter 2 die Gemeinden Bingen und Rüdesheim aufgeteilt. Diese Teilung spiegelt sich auch bei der Berechnung des Indexes wider und zwar sowohl perimeter- als auch des gemeindebezogenen. Auf die Berechnung der Gebäudepegel hatte diese Vorgehensweise keinen Einfluss, da alle Gebäude der jeweiligen Gemeinde für Abschirmungen und Reflexionen bei der Berechnung berücksichtigt wurden.

6 Schienenlärmindex Aufwachreaktionen

Die Bestimmung des Schienenlärmindex für den Nachtzeitraum erfordert die Kenntnis der Anzahl zusätzlicher, durch Schienenverkehrslärm induzierten Aufwachreaktionen. Die Zahl dieser zusätzlichen Aufwachreaktionen ist abhängig von den maximalen Pegeln am Ohr des Schlafers. Auch hierfür ist eine Dosis-Wirkungskurve erforderlich. Diese stellt einen Zusammenhang zwischen dem Maximalpegel und der Aufwachwahrscheinlichkeit her.

6.1 Berechnung

Der Schienenlärmindex für die Aufwachreaktionen soll die zusätzlichen, durch Schienenlärm induzierten Aufwachreaktionen im Nachtzeitraum (22-06 Uhr) widerspiegeln. Die Berechnung des Schienenlärmindex orientiert sich an den Gleichungen (7-7) und (7-8) der Machbarkeitsstudie.

Abweichend von der Machbarkeitsstudie wurde für den Schienenlärmindex für die Nacht der höchste Vorbeifahrtspegel, wie schon oben für den Schienenlärmindex für die Belästigung tags erläutert, je Stockwerk verwendet.

Die Zusammenhänge sind nachfolgend aufgeführt (Gleichung (6-1)).

$$SLI_{AWR} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_G} N_{G,i} \cdot N_{AWR,i} \quad (6-1)$$

$$\text{Mit: } N_{AWR,i} = \sum_{j=1}^n P_{AWR,SW} (L_{AF,Vor\ max,ij} + D)$$

$$\text{Mit}^{23}: P_{AWR,SW} = H_{AWR} \cdot \frac{(e^{-4,2407 + 0,0394 \cdot (L_{AF,Vor\ max,ij} + (-15\ dB))})}{(1 + e^{-4,2407 + 0,0394 \cdot (L_{AF,Vor\ max,ij} + (-15\ dB))})}$$

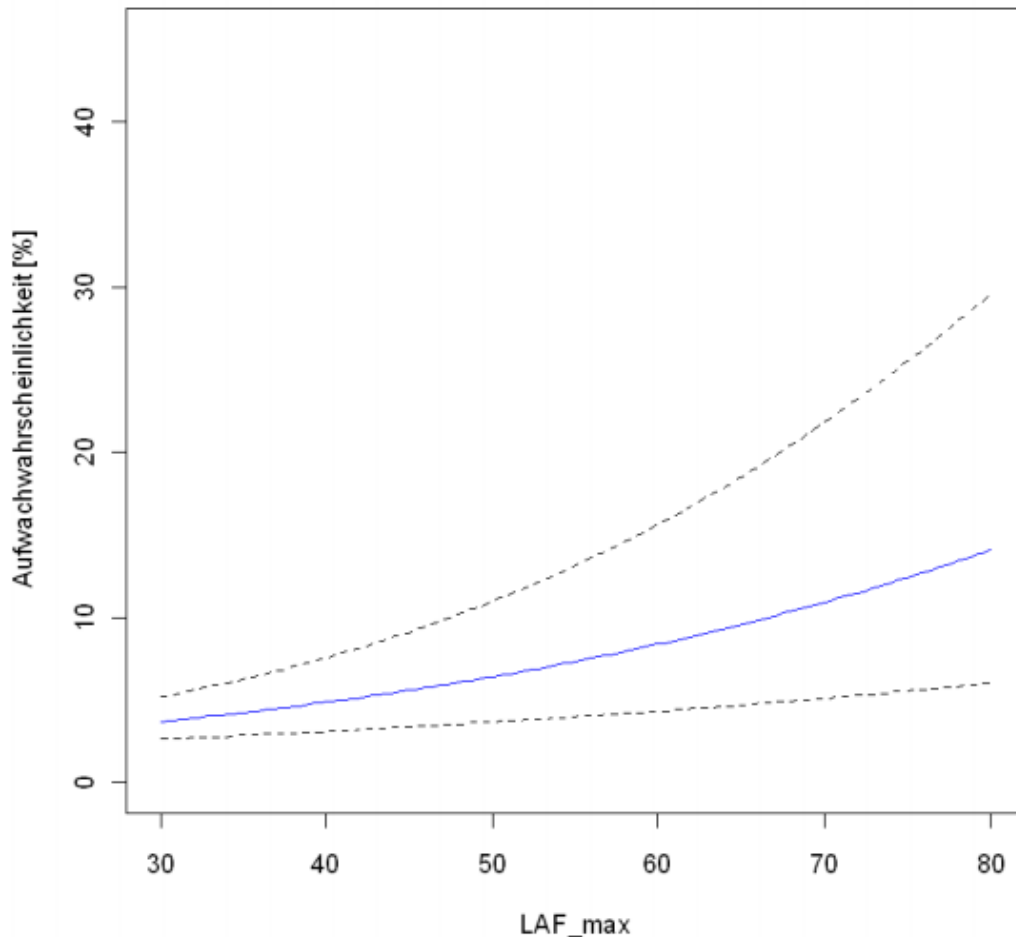
| | |
|----------------------|---|
| SLI_{AWR} | Schienenlärmindex für die Anzahl der Personen, die eine durch Schienenlärm induzierte, zusätzliche Aufwachreaktion in der Nacht erleben |
| N | Gesamteinwohner im betrachteten Perimeter / in der betrachteten Gemeinde |
| $N_{G,i}$ | Anteilige Anzahl der Einwohner, die der lautesten Fassade i pro Stockwerk zugeordnet sind |
| N_G | Gesamtzahl aller betrachteten Stockwerke aller Wohngebäude |
| $N_{AWR,i}$ | Anzahl schienenlärminduzierter, zusätzlicher Aufwachreaktionen für die Bewohner pro Stockwerk i |
| $P_{AWR, SW}$ | Wahrscheinlichkeit für eine zusätzliche Aufwachreaktion bei einem bestimmten maximalen Vorbeifahrtspegel $L_{AF,Vor\ max,ij}$ pro Stockwerk i |
| H_{AWR} | Aufwachwahrscheinlichkeit bei einem bestimmten maximalen Vorbeifahrtspegel $L_{AF,Vor\ max,ij}$ pro Stockwerk |
| D | Einfügungsdämpfung; $D = 15\ dB^{24}$ |
| $L_{AF,Vor\ max,ij}$ | Maximaler Vorbeifahrtspegel bei der j -ten Zugvorbeifahrt, Pegelwert an der lautesten Fassade des Stockwerks i eines Wohngebäudes |
| n | Anzahl der Vorbeifahrtspegel $L_{AF\ Vor\ max}$ in 8 h |

²³ Vgl. (DLR, 2010)

²⁴ Die Einfügungsdämpfung entspricht der eines gekippten Fensters.

Die Dosis-Wirkungskurve für die Aufwachreaktionen wurde der DLR-Studie (DLR, 2010) entnommen. Es muss betont werden, dass die dort angegebenen Dosis-Wirkungszusammenhänge nur bis zu Maximalpegeln von 80 dB(A) graphisch dargestellt sind; der mathematische Zusammenhang gemäß Gleichung (6-1) wurde als gültig auch über diesen Pegelwert hinaus angenommen. Das 95 %-Konfidenzintervall steigt mit zunehmendem Pegel (vgl. Abbildung 29).

Abbildung 28 Dosis-Wirkungskurve Aufwachreaktionen (Quelle: (DLR, 2010))



In der DLR-Studie wurde der hier genannte maximale Vorbeifahrtspegel messtechnisch bestimmt und stellt den Maximalwert während einer Zugfahrt am Messort dar. Für die Bestimmung der Indexgröße musste ein solcher maximaler Wert rechnerisch ermittelt werden. Weder in der Schall 03 (Deutsche Bundesbahn, 1990) noch in der VBUSch (Bundesanzeiger, 2006) ist die Berechnung von Maximalpegeln vorgesehen.

Dazu wurde auf eine Arbeit von Möhler (Möhler, 1990) zurückgegriffen. Dieser gibt folgenden Zusammenhang für die Berechnung des maximalen Vorbeifahrtspegels an:

$$L_{AF,max} = L_{AFm,1h} + 10 \log \left(1000 \cdot \frac{v}{n \cdot L} \right) = L_{eq} + 10 \log \left(\frac{v}{n \cdot L} \right) \quad (6-2)$$

$L_{AFm,1h}$ Mittelungspegel bezogen auf 1h

$L_{AF,max}$ Maximalpegel während einer Vorbeifahrt

| | |
|---|---|
| t | Vorbeifahrtzeit für einen Zug (Einwirkzeit) |
| n | Anzahl der Vorbeifahrten in einer Stunde |
| l | Zuglänge in m |
| v | Geschwindigkeit in km/h |

Der Zug wird dabei als eine bewegte Linienschallquelle angesehen. Die Länge derselben ist die Länge des Zuges. Die längenbezogene Emission der Linienquelle steht in Beziehung zum äquivalenten Schallemissionspegel.

Da die Emission gleichmäßig über den ganzen Zug verteilt wird, können Effekte, die durch Inhomogenitäten verursacht werden und den Maximalpegel erhöhen, wie z.B. schlechtlaufende Räder, durch diese Methode nicht abgebildet werden. Die Differenz zwischen dem wahren Wert des Maximalpegels und dem berechneten maximalen Vorbeifahrtspegel am Immissionsort wird umso größer, je kleiner der Abstand zwischen Immissionsort und Emittent (Gleis) im Vergleich zur Zuglänge wird.

Durch die Firma Braunstein + Berndt wurde auf der Grundlage dieses Zusammenhangs ein neues Tool entwickelt und in SoundPLAN (Version 7.1) implementiert, dass diese Berechnungen und die nachfolgende notwendige Auswertung (Pegelstatistiken und Häufigkeitsverteilungen) ermöglicht.

Die Vorbeifahrtspegelberechnungen sind erheblich zeitaufwändiger als die Berechnungen des äquivalenten Dauerschallpegels. Deshalb wurde für die Berechnung des Vorbeifahrtspegels das Zugsetup „verschlankt“; es wurden nur jeweils fünf verschiedene Typen von Güterzugvorbeifahrten pro Schienenstrecke, jene mit den höchsten Emissionen, berücksichtigt. Deren Auswahl erfolgte demzufolge nach den Kriterien:

- Anzahl Zugfahrten im Nachtzeitraum
- Emissionspegel (bestimmt durch Zuglänge und Geschwindigkeit)

In SoundPLAN wurden diese Züge in der Geodatenbank für die, dort als „Maximalpegelberechnung“ bezeichnete, Vorbeifahrtspegelberechnung ausgewählt.

Mit Ausnahme des Zugsetups blieben alle weiteren Daten für die Berechnungen unverändert.

Für die Berechnung der Vorbeifahrtspegel wurden die Einstellungen der Ausbreitungsberechnungen für den Belästigungsindex beibehalten, unter Bewertungstypen wurde die Bewertung „Schienenlärm Maximalpegel“ hinzugefügt.

**Tabelle 11 SoundPLAN-Rechenlaufeinstellungen Gebäudelärmkarten,
Index Aufwachreaktionen**

| | |
|--|-------------------------------------|
| Reflexionsordnung | 1 |
| Maximaler Suchradius | 3000 m |
| Maximale Reflexionsentfernung | 200 m |
| Maximaler Reflexionsabstand zur Quelle | 50 m |
| Toleranz | 0,5 dB |
| Filter | dB(A) |
| Richtlinie | Schall 03 |
| Bewertungstyp | L_{eq} , L_{max} - Schienenlärm |
| Zeitbereiche | 22-06 Uhr |
| Ein Aufpunkt in der Mitte der Fassade | |
| Kachelung | gekachelt |

Um den Schienenlärmindex nach Gleichung (6-1) berechnen zu können, ist die Kenntnis der Häufigkeitsverteilung für den maximalen Vorbeifahrtspegel je Stockwerk in 1 dB-Klassen an der jeweils lautesten Fassade erforderlich. Aus der Häufigkeitsverteilung lässt sich die Anzahl der Aufwachreaktionen für jede Pegelklasse berechnen.

Mittels der in der „Experttabelle“ von SoundPLAN hinterlegten Gleichung für die Wahrscheinlichkeit der Aufwachreaktionen können diese automatisiert in Abhängigkeit von den berechneten Vorbeifahrtspegeln bestimmt werden. Diese Aufwachwahrscheinlichkeiten werden automatisiert für jede Pegelklasse aufsummiert ($= N_{AWR,i}$). In einem weiteren Schritt kann unter Zuhilfenahme der Gemeindegrenzen und Berücksichtigung der anteiligen Einwohnerzahl pro Stockwerk, für jede Gemeinde der Index ausgegeben werden.

Die Gemeinden Bingen und Rüdesheim wurden dabei wiederum für die Berechnung des perimeterbezogenen Indexes getrennt und jeweils dreimal ausgewertet, zum einen der jeweilige Gemeindeabschnitt, der in Perimeter 1 und 2 liegt sowie zum anderen die gesamte Gemeinde.

Da das „Maximalpegeltool“ in SoundPLAN bisher noch nicht standardisiert für Berechnungen und Auswertungen genutzt worden ist, erschien es sinnvoll, eine Kontrolle der Ergebnisse durchzuführen. Diese erfolgte zweifach:

1. Zahl der Einwohner: Diese wurde gemeindeweise mit der in der Geodatenbank zugeordneten Anzahl der Einwohner verglichen; bis auf geringe, im einstelligen Bereich liegende, Abweichung stimmten die Zahlen überein. Diese Abweichungen können durch sogenannte Hausmeisterwohnungen in Schulen, Krankenhäusern oder allgemein in Nebengebäuden bedingt sein. Da in die Auswertung nur Einwohner von Hauptgebäuden eingehen, ist die reale Gesamtzahl der Einwohner pro Gemeinde um die Zahl der Hausmeisterwohnungen höher.
2. Stichprobenartige, manuelle Berechnung des Indexes in Excel: Die in SoundPLAN automatisiert berechneten Indexwerte stimmen mit den manuell berechneten Indexwerten überein²⁵.

²⁵ Aus verschiedenen Gründen wurde die automatisierte Berechnung der manuellen vorgezogen: Zum einen ist die manuelle Berechnung aufgrund der aufwändigen, händigen Arbeit deutlich fehleranfälliger, zum anderen...

Die Berechnung der perimeterbezogenen Indexe erfolgte ebenfalls über die Flächenauswertung in SoundPLAN, anstelle der Gemeindegrenzen wurden hier die Perimeter zu Auswertung genutzt.

6.2 Ergebnisse

Die berechneten Maximalpegel konnten anhand der Ergebnisse der Messstation in Oberwessel²⁶ validiert werden. Die Lage der Messstation wurde anhand des Messaufbaus (4 m Höhe, 4,70 m Abstand zur Schienenoberkante) in SoundPLAN nachmodelliert und der Pegel für diesen Einzelpunkt berechnet. Der für den Nachtzeitraum berechnete Maximalwert des Vorbeifahrtspegels beträgt 101,9 dB(A), die gemessenen Werte im Nachtzeitraum liegen zwischen 91,7 und 103,6 dB(A), im Tagzeitraum wurde sogar ein maximaler Pegel von 113,7 dB(A) messtechnisch ermittelt²⁷.

6.2.1 Auswertung der Betroffenen

In den nachfolgenden Tabellen und Abbildungen sind die Anzahl der von maximalen Vorbeifahrtspegeln betroffenen Anwohner sowohl nach Perimetern getrennt als auch gemeinsam für beide Perimeter absolut und prozentual dargestellt.

Tabelle 12 Anzahl der Betroffenen in der Nacht pro Pegelklasse, maximaler Vorbeifahrtspegel am Gebäude, Perimeter 1 und 2

| Pegelbereich (maximaler Vorbeifahrtspegel) [dB(A)] | Anzahl der Betroffenen in der Nacht | Prozentualer Anteil [%] |
|---|--|----------------------------|
| < 50 | 787 | 0,6 |
| 50-55 | 4.191 | 3,3 |
| 55-60 | 6.713 | 5,3 |
| 60-65 | 14.718 | 11,6 |
| 65-70 | 29.624 | 23,3 |
| 70-75 | 29.374 | 23,1 |
| 75-80 | 19.171 | 15,1 |
| 80-85 | 9.493 | 7,5 |
| 85-90 | 5.450 | 4,3 |
| 90-95 | 5.588 | 4,4 |
| 95-100 | 1.932 | 1,5 |
| > 100 | 163 | 0,1 |
| Summe | 127.204 | 100 |

Die am häufigsten auftretenden maximalen Vorbeifahrtspegel (etwa 50 %) liegen in dem Pegelbereich von 65-75 dB(A).

ren war eine Ergebniszusammenführung von Gemeinden, die sich über mehrere Rechengebiet erstreckten, in Excel nicht unproblematisch.

²⁶ Vgl. <http://www.luwg.rlp.de/Aktuell/broker.jsp?uMen=3b01009c-1f3f-ab21-4cf4-3a760defa5a2>

²⁷ <http://www.luwg.rlp.de/Aufgaben/Messinstitut,-Zentrallabor/Laerm/Ueberwachung-Schienenverkehrslaerm/>, Zeitraum: 30.09.2010 bis 19.01.2012, abgerufen am 12.02.2012.

Bezüglich der Verteilung der Betroffenen in der Nacht auf die Pegelklassen (vgl. Abbildung 31) unterscheiden sich die beiden Perimeter stark voneinander: Im Perimeter 1 hat die Verteilung zwei Maxima, ein Hauptmaximum in der Pegelklasse von 70-75 dB(A) und ein kleines Nebenmaximum in der Klasse 90-95 dB(A). Die Verteilung in Perimeter 2 ist hingegen eher symmetrisch, die meisten Betroffenen gibt es in der Pegelklasse von 65-70 dB(A). Die Belastung durch maximale Vorbeifahrtspegel in der Nacht ist somit im Perimeter 1 deutlich höher als im Perimeter 2.

Tabelle 13 Anzahl der Betroffenen in der Nacht pro Pegelklasse, maximaler Vorbeifahrtspegel am Gebäude, Perimeter 1 und 2, relative und absolute Zahlen

| Pegelbereich (maximaler Vorbeifahrtspegel) [dB(A)] | Anzahl der Betroffenen in der Nacht | | Prozentualer Anteil [%] | |
|---|--|-------------|----------------------------|-------------|
| | Perimeter 1 | Perimeter 2 | Perimeter 1 | Perimeter 2 |
| < 50 | 68 | 719 | 0,2 | 0,8 |
| 50-55 | 200 | 3.991 | 0,5 | 4,6 |
| 55-60 | 1.737 | 4.976 | 4,4 | 5,7 |
| 60-65 | 4.221 | 10.497 | 10,6 | 12,0 |
| 65-70 | 6.217 | 23.407 | 15,7 | 26,7 |
| 70-75 | 7.228 | 22.146 | 18,2 | 25,3 |
| 75-80 | 6.832 | 12.339 | 17,2 | 14,1 |
| 80-85 | 4.519 | 4.974 | 11,4 | 5,7 |
| 85-90 | 3.123 | 2.327 | 7,9 | 2,7 |
| 90-95 | 3.771 | 1.817 | 9,5 | 2,1 |
| 95-100 | 1.632 | 300 | 4,1 | 0,3 |
| > 100 | 118 | 45 | 0,3 | 0,1 |
| Summe | 39.666 | 87.538 | 100 | 100 |

Abbildung 29 Anzahl der Betroffenen in der Nacht pro Pegelklasse, maximaler Vorbeifahrtspegel am Gebäude, Perimeter 1 und 2 getrennt, prozentual

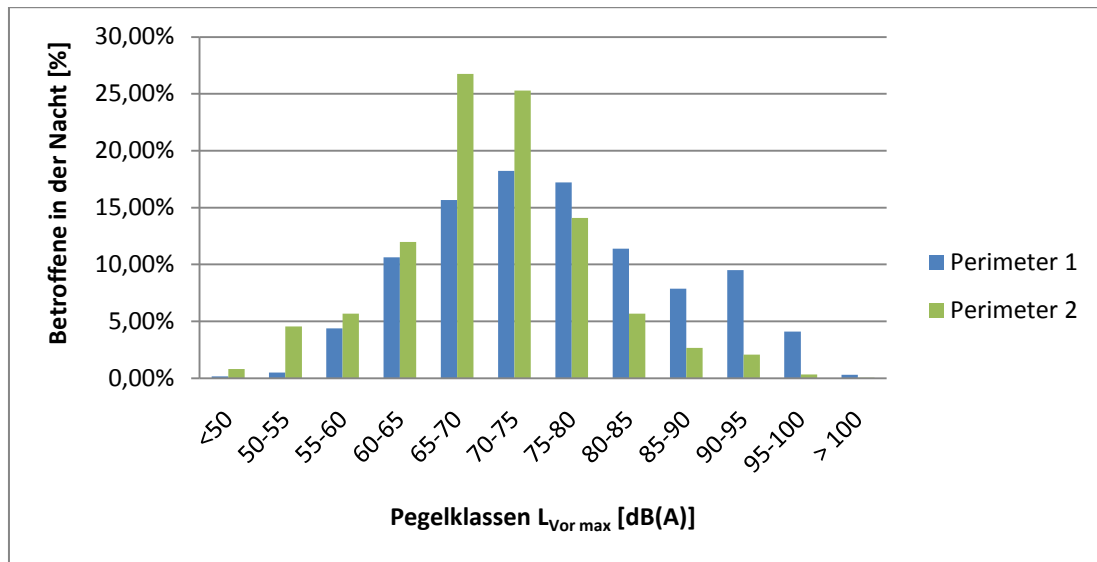
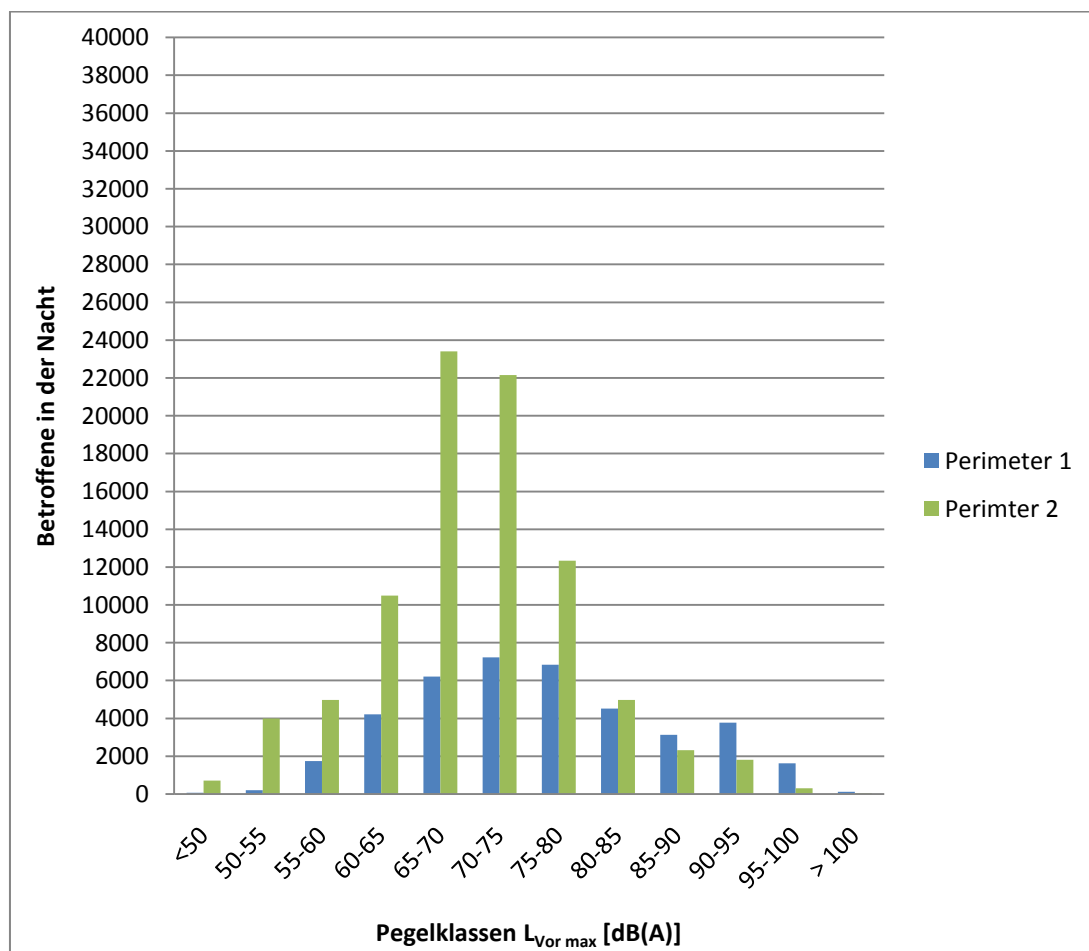


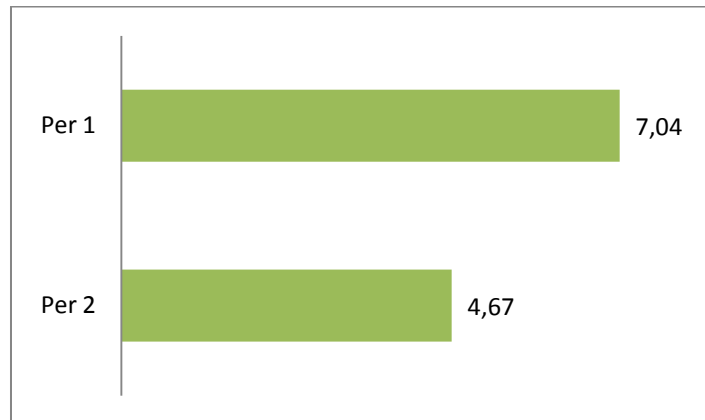
Abbildung 30 Anzahl der Betroffenen in der Nacht pro Pegelklasse, maximaler Vorbeifahrtspegel am Gebäude, Perimeter 1 und 2 getrennt, absolute Zahlen



6.2.2 Schienenlärmindex Aufwachreaktionen

Die Ergebnisse der Berechnungen des Schienenlärmindex für den Nachtzeitraum sind nachfolgend zusammengestellt. Die Abbildung 31 zeigt den Index perimeterbezogen, in der Abbildung 32 ist er für jede Gemeinde separat dargestellt. Die Gemeinden wurden wieder farblich markiert, dunkelgrün eingefärbt wurden die rheinland-pfälzischen, hellgrün die hessischen Gemeinden.

Abbildung 31 Index Aufwachreaktionen, nach Perimetern



Der gemeindebezogene Schienenlärmindex im Nachtzeitraum nimmt im Untersuchungsgebiet Werte zwischen 2,52 (Ingelheim) und 12,40 (Kaub) an. Wie bei dem Schienenlärmindex für den Tagbereich gilt auch hier eine analoge Aussage: Je höher der Schienenlärmindex, desto höher auch Zahl der schienenlärmbedingten Aufwachreaktionen und damit der schlafgestörten Personen.

Abbildung 32 Index Aufwachreaktionen, nach Gemeinden - alphabetisch sortiert

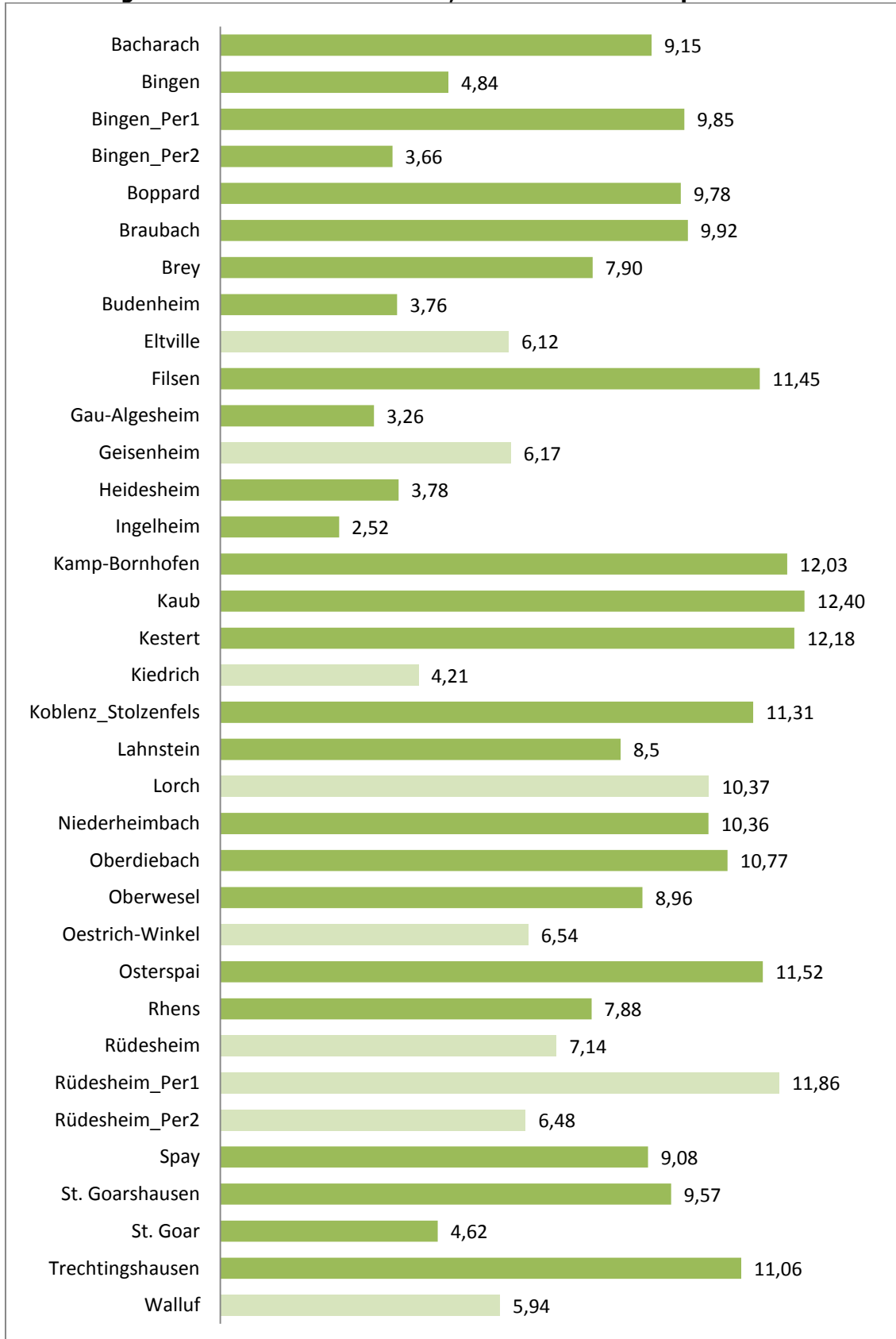


Abbildung 33 Index Aufwachreaktionen, nach Gemeinden – nach Index sortiert

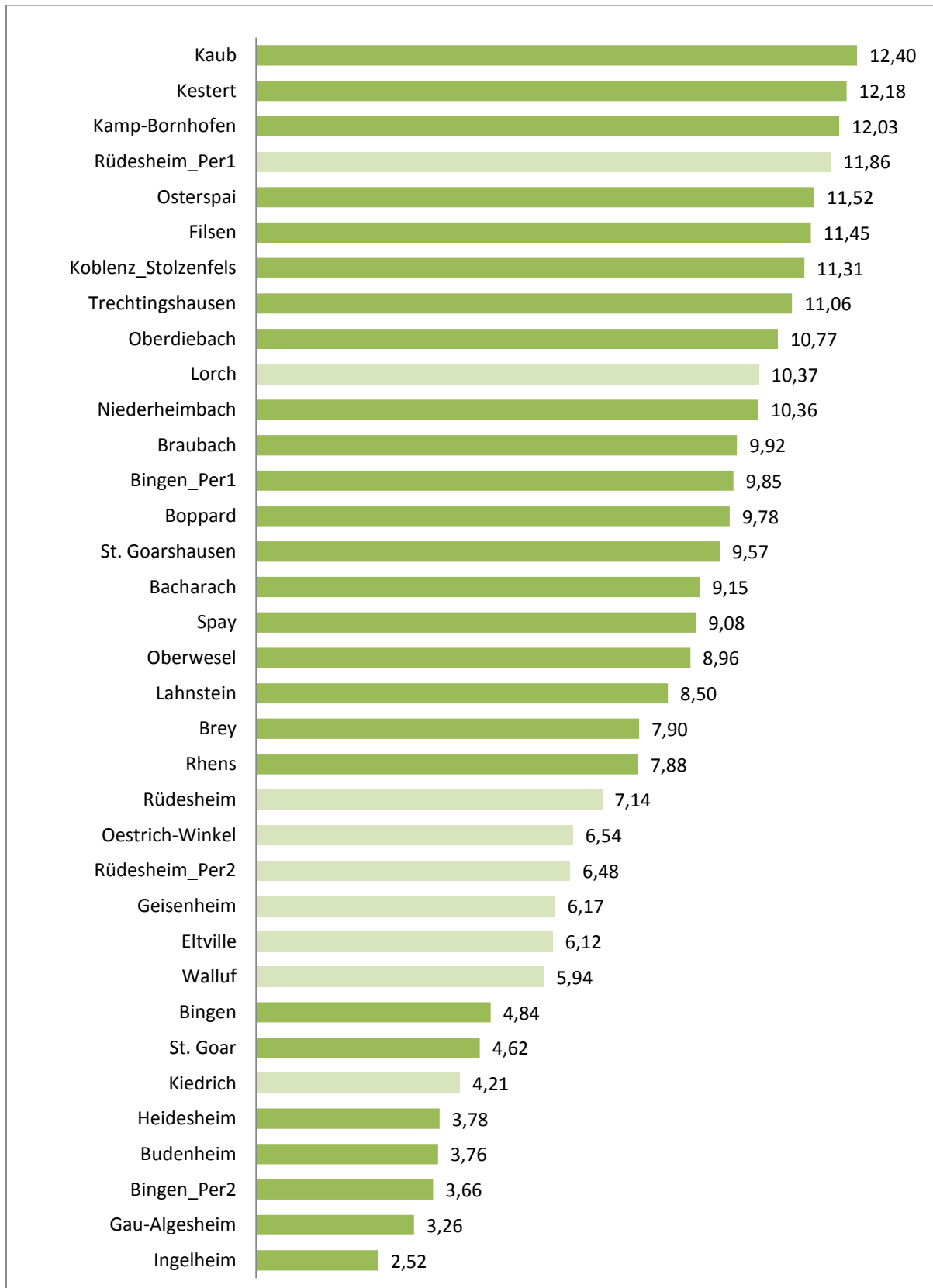
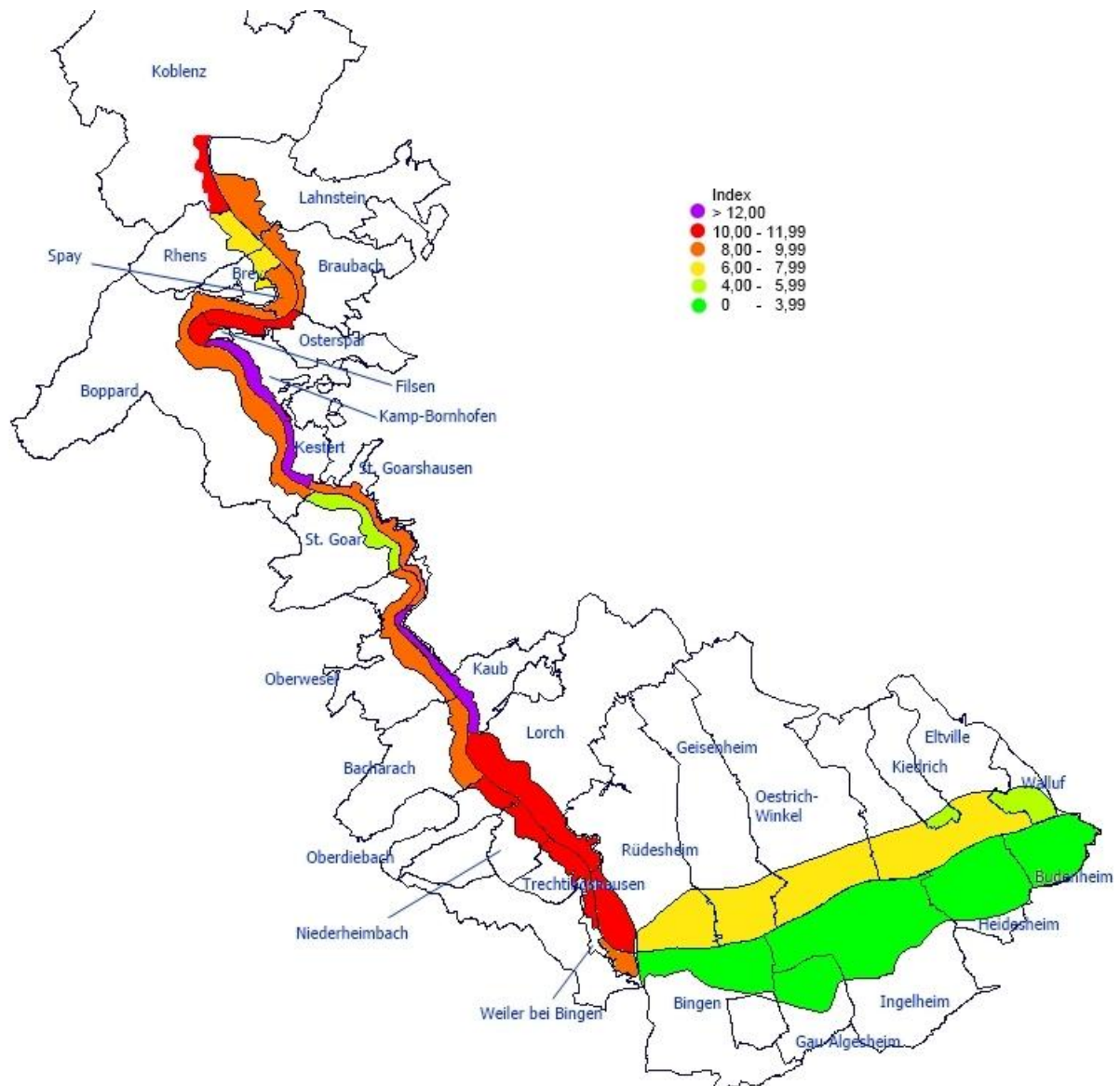


Abbildung 34 Index Aufwachreaktionen – Karte



Zur besseren Darstellung wurden auch hier, wie beim Index für die Belästigung, die Gemeindegebiete mit dem Indexwert eingefärbt. Es muss beachtet werden, dass die Skalierungen und Intervallbreiten der Indices für Tag und Nacht dabei willkürlich gewählt wurden, also nicht direkt vergleichbar sind.

6.3 Diskussion

Grundsätzlich sind die Interpretationen, die bei der Diskussion des Belästigungsindex getroffen wurden, analog auch auf den Index zur Beschreibung der Aufwachreaktionen zu übertragen:

- Die Gemeinden liegen nicht vollständig innerhalb der Perimeter
- Die Gemeinden der rechten Rheinseite weisen höhere Indexwerte auf als die Gemeinden der linken Rheinseite
- Unterschiede im Index bei Gemeinden auf der gleichen Rheinseite²⁸
- Deutlich unterschiedliche Indexwerte für Perimeter 1 und Perimeter 2
- Die Gemeinden Bingen und Rüdesheim liegen in beiden Perimetern

Eine Ausnahme bildet, aufgrund der Konstruktion des Index, die Spannweite der Indexwerte. Im Gegensatz zu dem Schienenlärminde am Tag nehmen die Werte des Schienenlärminde in der Nacht aufgrund der Berechnungsvorschrift nicht nur Werte zwischen 0 und 1 an, sondern können theoretisch bei beliebig vielen Vorbeifahrten mit beliebig hohen Pegelwerten beliebig groß werden. Der kleinstmögliche Wert ist Null.

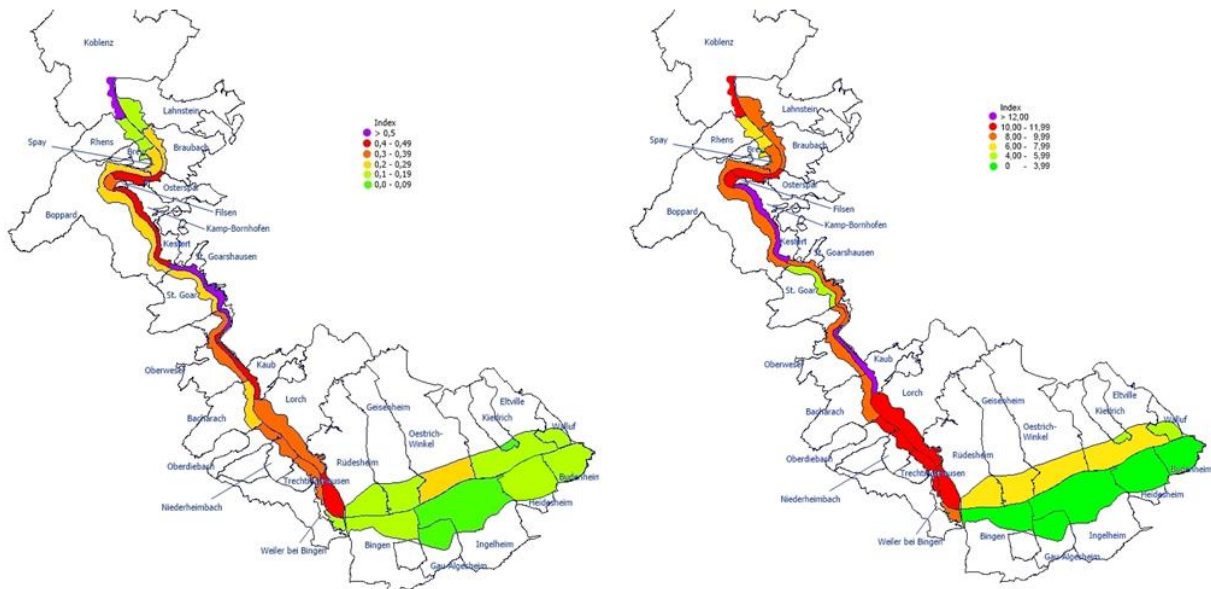
²⁸ Der Wert des Indexes Aufwachreaktionen ist ein Maß für die zusätzliche Anzahl der Aufwachreaktionen pro Gemeinde (und damit letztlich auch der einzelnen Person). Je bauchiger die Gemeinde um die Schiene herum liegt, desto weniger zusätzliche Aufwachreaktionen entstehen durch den Schienenverkehrslärm im Nachtzeitraum.

7 Vergleich Index Belästigung – Index Aufwachreaktionen

Ein Vergleich der Indexwerte für den Tag- und den Nachtzeitraum lässt die folgenden Aussagen zu (vgl. dazu die nachfolgenden Abbildungen):

1. Die Indexwerte der rechten Rheinseite sind sowohl im Tages- als auch im Nachtzeitraum fast durchgehend höher als die der linken Rheinseite.
2. Beide Indices im Perimeter 1 - und damit auch die Belästigung tags sowie die Aufwachreaktionen nachts - sind höher als im Perimeter 2.

**Abbildung 35 Direkter Kartenvergleich
Index Aufwachreaktionen (links) und Index Belästigung (rechts)**

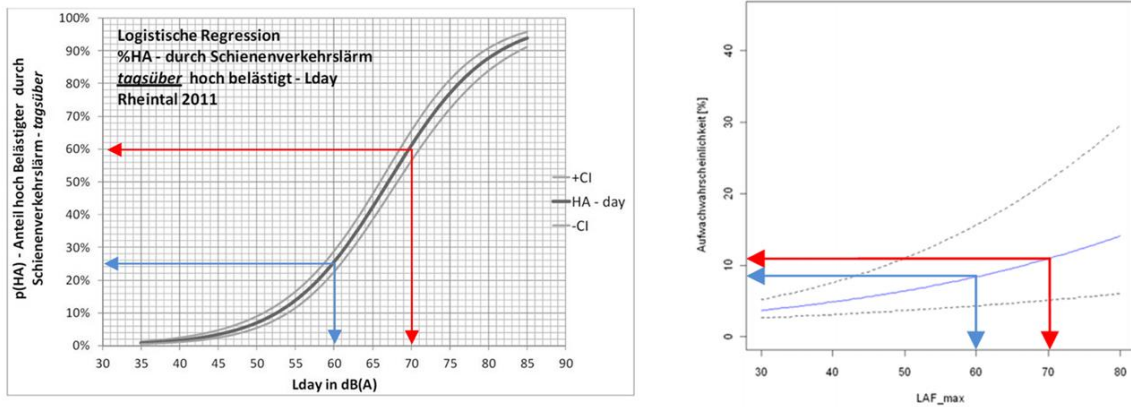


**Tabelle 14 Vergleich der Indices für Belästigung und Aufwachreaktionen
(eingefärbt nach den Karten in Abbildung 24 und Abbildung 34)**

| | Index Belästigung | Index Aufwachreaktionen |
|----|---------------------|-------------------------|
| 1 | St. Goarshausen | Kaub |
| 2 | Koblenz-Stolzenfels | Kestert |
| 3 | Kaub | Kamp-Bornhofen |
| 4 | Rüdesheim Per1 | Rüdesheim_Per1 |
| 5 | Kestert | Osterspai |
| 6 | Kamp-Bornhofen | Filsen |
| 7 | Osterspai | Koblenz-Stolzenfels |
| 8 | Filsen | Trechtingshausen |
| 9 | Niederheimbach | Oberdiebach |
| 10 | Lorch | Lorch |
| 11 | Trechtingshausen | Niederheimbach |
| 12 | Oberdiebach | Braubach |
| 13 | Oberwesel | Bingen_Per1 |
| 14 | Braubach | Boppard |
| 15 | Boppard | St. Goarshausen |
| 16 | Bacharach | Bacharach |
| 17 | Spay | Spay |
| 18 | St. Goar | Oberwesel |
| 19 | Oestrich-Winkel | Lahnstein |
| 20 | Rüdesheim | Brey |
| 21 | Eltville | Rhens |
| 22 | Walluf | Rüdesheim |
| 23 | Lahnstein | Oestrich-Winkel |
| 24 | Geisenheim | Rüdesheim_Per2 |
| 25 | Rhens | Geisenheim |
| 26 | Rüdesheim Per2 | Eltville |
| 27 | Heidesheim | Walluf |
| 28 | Budenheim | Bingen |
| 29 | Bingen Per2 | St. Goar |
| 30 | Brey | Kiedrich |
| 31 | Bingen | Heidesheim |
| 32 | Bingen Per1 | Budenheim |
| 33 | Gau-Algesheim | Bingen_Per2 |
| 34 | Ingelheim | Gau-Algesheim |
| 35 | Kiedrich | Ingelheim |

Es zeigen sich jedoch auch bei einzelnen Gemeinden Unterschiede zwischen dem Tag- und dem Nachtindex. Am deutlichsten wird dies auf dem Stück zwischen Bacharach und Bingen; die Indexwerte der Gemeinden im Nachtzeitraum liegen alle im oberen Drittel der Skala, während die Indexe am Tag eher im mittleren Bereich liegen. Bedingt ist dies durch die unterschiedlichen Pegelmaße sowie die Dosis-Wirkungskurven, die der Indexberechnung zugrunde liegen. Die Dosis-Wirkungskurve für den Tagbereich hat, besonders im Pegelbereich von 60 bis etwa 75 dB(A), einen deutlich stärkeren Anstieg als die entsprechende Kurve für den Nachtbereich (vgl. Abbildung 36). Eine Verringerung des maximalen Vorbeifahrtspegels bewirkt somit eine nur geringe Änderung der Aufwachwahrscheinlichkeit, während im Tagzeitraum die prozentuale Änderung bei Veränderungen des äquivalenten Dauerschallpegels relativ groß ist.

**Abbildung 36 Direkter Vergleich der Dosis-Wirkungskurven
Tag (links) und Nacht (rechts)**



Bei der Berechnung eines äquivalenten Dauerschallpegels haben die einzelnen Maximalpegel der Zugvorbeifahrten auf der gegenüberliegenden Rheinseite keinen hohen Einfluss auf den Pegel. Für die Aufwachreaktionen sind, aufgrund der flachen Dosis-Wirkungskurve, auch geringere Pegel von Einfluss.

8 Testberechnungen für verschiedene Lärminderungsmaßnahmen

8.1 Aufgabenstellung

Die bisher berechneten Schienenlärmindices für den Tag- und den Nachtzeitraum spiegeln die aktuelle Lärmbelastungssituation im Mittelrheintal und im Rheingau / Rheinhessen wider. Um zum einen die Praktikabilität / Sensibilität der Indices und zum anderen die Wirksamkeit unterschiedlicher Lärmschutzmaßnahmen darzustellen, wurden für ein abgegrenztes Testgebiet verschiedene Lärminderungsszenarien, wie die Umrüstung der Güterwagenflotte auf K-Sohlen und die Reduzierung der zulässigen Streckengeschwindigkeit simuliert und deren Auswirkungen auf die Indices berechnet.

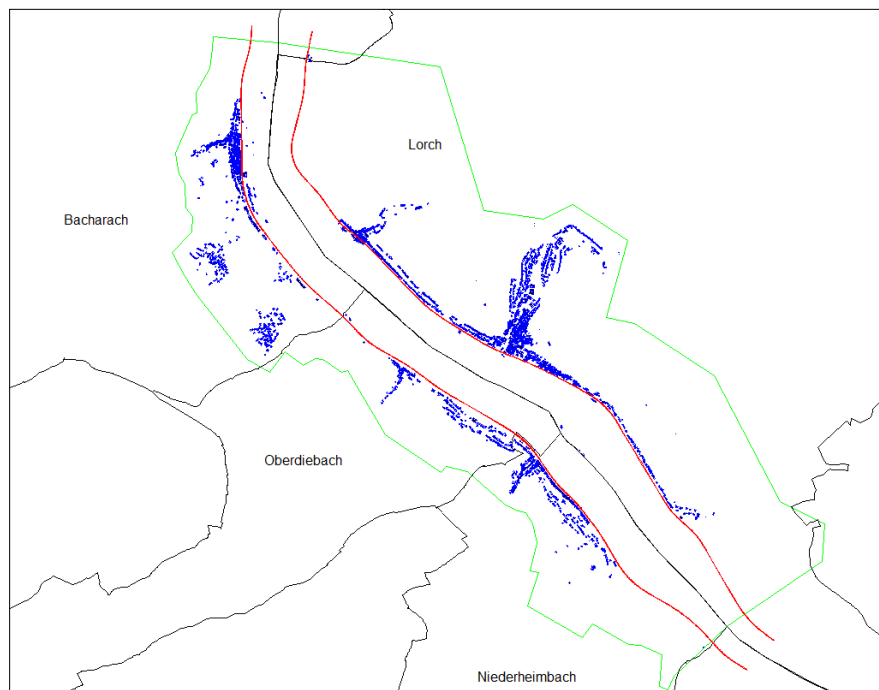
8.2 Testgebiet

Das Testgebiet sollte gemäß dem Auftrag nicht das gesamte Mittelrheintal umfassen, sondern sollte hinsichtlich der Bebauung und der Lärmsituation für dieses repräsentativ sein. Es sollte, ohne sich an Gemeindegrenzen orientieren zu müssen, sowohl rheinland-pfälzische als auch hessische Gemeinden umfassen.

Nach diesen Vorgaben wurde das Testgebiet auf Teile der Gemeinden Bacharach, Oberdiebach und Niederheimbach (linksrheinisch) sowie Lorch (rechtsrheinisch) festgelegt, die genaue Abgrenzung ist aus der untenstehenden Abbildung ersichtlich. Die westlichen- und östlichen Grenzen stimmen mit denen des Perimeter 1 aus den Hauptberechnungen überein.

Das Testgebiet umfasst 4.470 Einwohner.

Abbildung 37 Testgebiet



8.3 Erstellung der Vergleichssituation und Modellierung der Maßnahmen

Die Berechnung der Vergleichssituation (Ausgangssituation) und darauf aufbauend der verschiedenen Maßnahmen dienen der Beurteilung des Potentials dieser Lärminderungsmaßnahmen. Dies wird nicht durch die absoluten Werte der Indices, sondern durch ihre prozentualen Änderungen widerspiegelt.

Die in der Umsetzung wahrscheinlichste Maßnahme ist die Umrüstung der derzeit fahrenden Güterwagenflotte auf die K-Sohle, die aus diesem Grund auch mit verschiedenen Umrüstungsgraden, die den zeitlichen Verlauf des Umrüstungsprozesses widerspiegeln sollen, simuliert wurde. Die Umrüstung auf die K-Sohle sollte auf die Wagenflotte und nicht auf einzelne Züge angewandt werden.

Als zweite mögliche Maßnahme wurden Geschwindigkeitsbeschränkungen betrachtet, zum einen eine Reduktion der jeweils zulässigen Streckengeschwindigkeit um 20 km/h und zum anderen die generelle Beschränkung der Geschwindigkeit auf 70 km/h im Testgebiet²⁹.

Tabelle 15 Übersicht über die berechneten Maßnahmen

| Maßnahme | Minderung des L_{mE} im Verhältnis zur Vergleichssituation [dB] |
|--|---|
| Ca. 50 % Umrüstung der Güterzüge ³⁰ auf K-Sohle | 2,6 |
| Ca. 75 % Umrüstung der Güterzüge auf K-Sohle | 5,0 |
| Ca. 95 % Umrüstung der Güterzüge auf K-Sohle | 10,0 |
| Reduzierung der Streckengeschwindigkeit ³¹ um 20 km/h | 0,0 bzw. 0,3 ³² |
| Begrenzung der Geschwindigkeit auf 70 km/h | 3,1 |

Aus der Tabelle erkennt man sofort, dass die Reduzierung der Geschwindigkeit um 20 km/h überraschenderweise keinen bzw. tagsüber nur einen geringen Einfluss von 0,3 dB hat. Bedingt ist dies durch die hohe Streckengeschwindigkeit auf diesen Streckenabschnitten, die fast durchgehend 20-30 km/h über der maximalen Geschwindigkeit der Güterzüge liegt. Eine Reduzierung der Streckengeschwindigkeit hat nur dann Auswirkungen auf die Güterzüge, wenn deren maximale Geschwindigkeit und die Streckengeschwindigkeit gleich sind. Um dennoch den eigentlich erwarteten positiven Einfluss von Geschwindigkeitsreduktionen modellieren zu können, wurden zusätzlich eine Reduzierung der Geschwindigkeit auf 70 km/h betrachtet.

²⁹ Im Rahmen einer Besprechung am 30.05.2011 mit den beteiligten Ministerien und der DB AG wurde in Erwägung gezogen, das Testgebiet auch einmal gemäß der neuen Schall 03 zu berechnen. Bis zum Projektabschluss lag hierfür jedoch noch keine ausreichende Datengrundlage vor.

³⁰ Aufgrund der für die Berechnungen notwendigen Pauschalisierungen im Zugsetup (s.u.) lassen sich Umrüstungsgrade von genau 75% bzw. 95 % nicht realisieren.

³¹ Die Streckengeschwindigkeit ist die maximal zulässige Geschwindigkeit für den jeweiligen Streckenabschnitt und unabhängig von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit der Zuggattungen.

³² Am Tag hat die Reduzierung der Geschwindigkeit einen Einfluss von 0,3 dB. Hier spiegeln sich die höheren Geschwindigkeiten der Personenzüge wider.

Generell ist der Einfluss der Personenzüge auf den Emissionspegel tags eher gering (maximal 0,4 dB auf der rechten, 1,2 dB auf der linken Rheinseite), den größten Anteil am äquivalenten Tagespegel liefern die Güterzüge.

Bei der Modellierung der Testmaßnahmen ist das Ziel, Aussagen über die Wirksamkeit derselben zu erlangen. Dieses ist durch die Angabe relativer Änderungen der Indices möglich. Deshalb ist die absolute Größe der Ausgangswerte der Indexe nicht entscheidend. Aus diesem Grund war es möglich, das Zugsetup etwas zu „verschlanken“ bzw. zu vereinfachen. Anstelle der verschiedenen Zuggattungen mit jeweils unterschiedlichen Zuglängen und maximalen Geschwindigkeiten sowie unterschiedlichen Anzahlen an Fahrten im Tag- und Nachtzeitraum wurde eine neue Güterzuggattung für das Testgebiet erstellt, die die charakteristischen Parameter des tatsächlichen Zugverkehrs möglichst gut modelliert. Ebenso wurde mit den Personenzügen verfahren.

Es ergibt sich dementsprechend folgendes Zugsetup für die Vergleichssituation ohne Maßnahmen, es fahren jeweils eine modellierte Güter- und Personenzuggattung links- bzw. rechtsrheinisch mit der in der Tabelle 17 angegebenen Häufigkeit:

Tabelle 16 Zugsetup Vergleichssituationen ohne Maßnahmen

| | Anzahl Tag | Anzahl Nacht | Länge | Geschwindigkeit | SB-Anteil ³³ |
|------------------------------------|------------|--------------|-------|-----------------|-------------------------|
| Güterzug linksrheinisch | 30 | 36 | 575 | 100 | 0 |
| Güterzug rechtsrheinisch | 84 | 62 | 590 | 100 | 0 |
| Personenzug linksrheinisch | 97 | 18 | 200 | 180 | 100 |
| Personenzug rechtsrheinisch | 44 | 10 | 165 | 125 | 70 |

Für die Modellierung der verschiedenen Umrüstungsgrade auf die K-Sohle wurden die Zugzahlen je Zuggattung geteilt und aus einer Zuggattung entsprechend zwei neue Zuggattungen modelliert, die in ihrer Summe dem in der Vergleichssituation angelegten Zug entsprechen.

Mithilfe dieser Aufteilung war es möglich, anhand der prozentual angepassten Zugzahlen die unterschiedlichen Umrüstungsgrade darzustellen. Bei einem Umrüstungsgrad von bspw. ca. 95 % wurden im Tageszeitraum linksrheinisch 29 Zügen (entspricht ca. 95 %) die K-Sohle zugeordnet, ein Zug (entsprechend ca. 5 %) ist mit herkömmlicher Bremse gefahren. Entsprechend wurde für die rechte Rheinseite und die weiteren Umrüstungsgrade im Tag- und Nachtzeitraum verfahren. In Tabelle 17 sind die verschiedenen Situationen in Abhängigkeit der Maßnahmen aufgeführt.

³³ Der SB (Scheibenbremsen)-Anteil gilt nur für Personenzüge, Güterzüge sind mit Grauguss (GG)- oder Komposit (K)-Sohlen ausgerüstet.

Tabelle 17 Aufteilung der Züge nach K-Sohlen Umrüstungsgrad

| | Linksrheinisch (Sch01) | | | | Rechtsrheinisch (Sch02) | | | |
|--------------------------|---|----------|---------|----------|-------------------------|----------|---------|----------|
| Zeitraum | Tag | | Nacht | | Tag | | Nacht | |
| Zugzahlen | 30 | | 36 | | 84 | | 62 | |
| | K-Sohle | GG-Sohle | K-Sohle | GG-Sohle | K-Sohle | GG-Sohle | K-Sohle | GG-Sohle |
| | Zugzahlen nach Maßnahme und K-Sohlenabschlag | | | | | | | |
| 50 %³⁴ | 15 | 15 | 18 | 18 | 42 | 42 | 31 | 31 |
| Ca. 75 % | 23 | 7 | 27 | 9 | 63 | 21 | 47 | 15 |
| Ca. 95 % | 29 | 1 | 34 | 2 | 80 | 4 | 59 | 3 |

Für die Berechnung der Immissionen unter Berücksichtigung der Maßnahme „anteilige Umrüstung auf die K-Sohle“ wurden die anteiligen Züge mit einem fahrzeugspezifischem Abschlag³⁵ (DFz) von -10 dB versehen. Ein Abschlag von 10 dB setzt allerdings ein akustisch gutes (glattes) Gleis voraus. Ein verbleibender Anteil von Güterzügen mit Graugussbremssohlen führt jedoch nicht nur zu einer geringeren akustischen Wirkung, sondern auch dazu, dass die Gleise verriffeln.

Die Pegelminderung von 10 dB ergibt sich, nach Aussagen des Ansprechpartners der DB AG, aus dem offiziellen Pegelschrieb einer Demonstrationsfahrt mit K-Sohle am 2. April 2007 in Bingen am Rhein (Deutsche Bahn AG, 2011). Hierbei war eine Hälfte des Zuges mit Graugussbremsen, die andere Hälfte mit K-Sohlen ausgestattet. Die Pegelminderung ist sowohl auf dem Pegelschrieb sichtbar als auch auf der dazugehörigen Audiodatei³⁶ deutlich wahrnehmbar. In der Praxis ist aufgrund der möglicherweise schlechteren Gleisqualität mit Abweichungen zu rechnen³⁷.

In der Umsetzung im Rechenmodell bedeutet eine fast vollständige Umrüstung (ca. 95 %) auf K-Sohlen eine Minderung der Emissionspegel und damit nach Gleichung (6-2) auch der maximalen Vorbeifahrtspegel um 10 dB. Minderungen des maximalen Vorbeifahrtspegels, die durch den Waggon selbst oder die Ladung auftreten, werden hierbei nicht erfasst.

³⁴ S. Fußnote 26

³⁵ In der Tabelle: K-Sohlenabschlag

³⁶ <http://www.deutschebahn.com/de/nachhaltigkeit/umwelt/laermminderung/fluesterbremse.html>, abgerufen am 12.02.2012

³⁷ In verschiedenen Quellen werden auch andere Angaben zu dem Minderungspotential der K-Sohle gemacht, u.a. in (de Vos, 2007) 5-8 dB und (Oertli, 2008). Da in dem Pegelschrieb der Demonstrationsfahrt die Pegelminderung von 10 dB bei gutem Gleis offiziell nachgewiesen wurde, wurde dies für die Berechnungen zugrunde gelegt.

Für die Modellierung der Geschwindigkeitsbeschränkungen als lärmindernde Maßnahme wurde die jeweilige Streckengeschwindigkeit pro Abschnitt sowohl für Personen- als auch für Güterzüge einmal um 20 km/h reduziert, einmal auf 70 km/h begrenzt.

Die Berechnungseinstellungen in SoundPLAN entsprechen denen der Indexberechnungen, die gesamten Testberechnungen wurden in SoundPLAN 7.1 erstellt und durchgeführt.

8.4 Ergebnisse

Index Belästigung

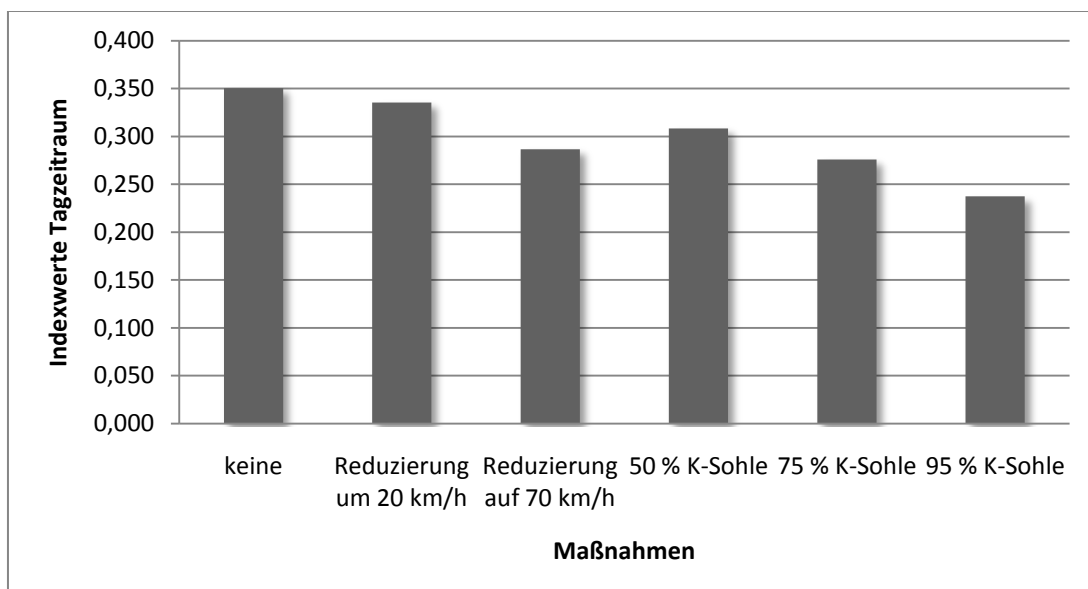
Eine Reduktion der Streckengeschwindigkeit um 20 km/h verringert den Index im Tageszeitraum nur geringfügig um weniger als 5 %. Die Ursachen dafür sind in Kapitel 8.3 ausführlich dargestellt.

Eine Begrenzung der Geschwindigkeit auf 70 km/h senkt den Indexwert hingegen deutlich um 18 % auf 82 %, da dabei die Güterzüge von der Geschwindigkeitsreduktion deutlich betroffen sind.

Tabelle 18 Testgebiet Index Belästigung

| Maßnahme | Schienenlärmindex Tag | Prozentuale Änderung |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|
| keine | 0,350 | |
| Reduzierung um 20 km/h | 0,335 | 4,3% |
| Reduzierung auf 70 km/h | 0,287 | 18,0% |
| Ca. 50 % K-Sohle | 0,308 | 12,0% |
| Ca. 75 % K-Sohle | 0,276 | 21,1% |
| Ca. 95 % K-Sohle | 0,237 | 32,3% |

Abbildung 38 Testgebiet Index Belästigung – Vergleich der Maßnahmen



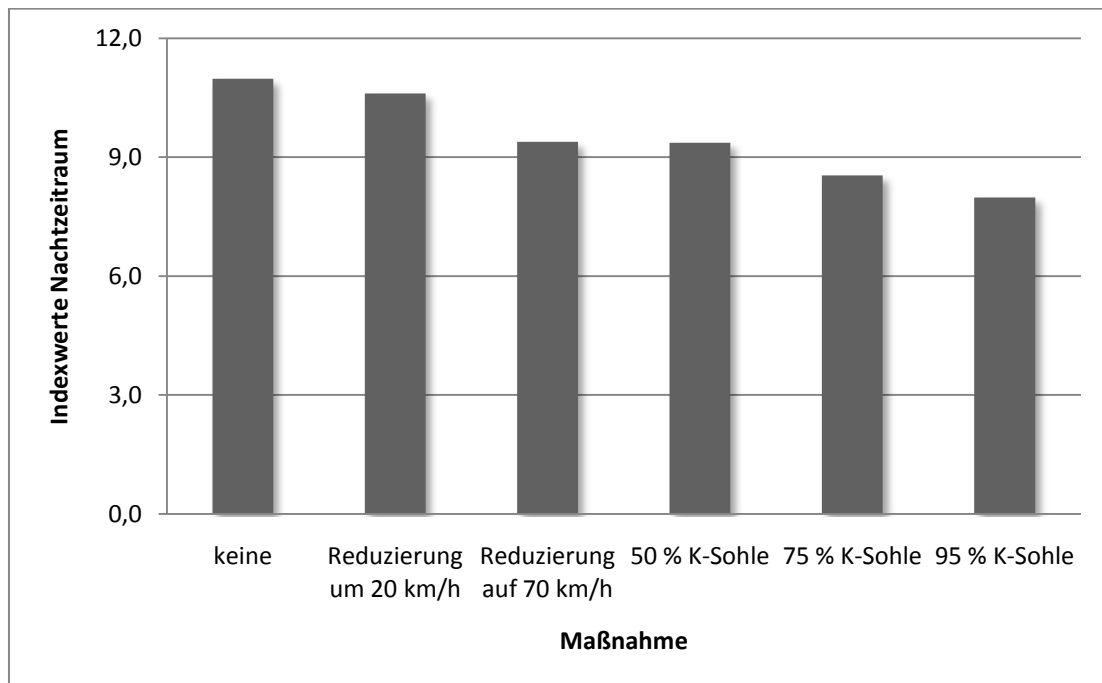
Die mit Abstand stärkste Wirkung auf den Schienenlärmindex hat die fast vollständigen Umrüstung (ca. 95 %) der Güterwagen auf die K-Sohle, hier sinkt der Schienenlärmindex von 0,35 (ohne Maßnahmen) auf 0,237 bzw. 68 %. Bei einer Umrüstung auf die K-Sohle verändern sich nur die Emissionspegel der Güterzüge, die Personenzüge sind von dieser Maßnahme nicht betroffenen, da sie über keine Graugussbremsen verfügen.

Index Aufwachreaktionen

Tabelle 19 Testgebiet Index Aufwachreaktionen

| Maßnahme | Anzahl AWR | Schienenlärmindex Nacht | Prozentuale Änderung |
|-------------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| keine | 49.050 | 10,98 | |
| Reduzierung um 20 km/h | 47.400 | 10,61 | 3,3% |
| Reduzierung auf 70 km/h | 41.950 | 9,39 | 10,4% |
| Ca. 50 % K-Sohle | 41.850 | 9,36 | 14,7% |
| Ca. 75 % K-Sohle | 38.200 | 8,54 | 22,2% |
| Ca. 95 % K-Sohle | 34.900 | 7,81 | 28,9% |

Abbildung 39 Testgebiet Index Aufwachreaktionen – Vergleich der Maßnahmen



Wie aus Tabelle 19 und

Abbildung 39 erkennbar, vermindert eine Geschwindigkeitsreduktion um 20 km/h den Index im Nachtzeitraum ebenso wie im Tagzeitraum nur unwesentlich (um etwas mehr als 3 %). Eine generelle Begrenzung der Geschwindigkeit auf 70 km/h zeigt hingegen deutlichere Auswirkungen auf den Index, der Indexwert verringert sich auf 9,39 (ohne Maßnahmen: 10,98),

dies entspricht einer prozentualen Verminderung von 10 %, etwas geringer als für den Tagszeitraum.

Begründet ist dieser Unterschied (wie schon in Kapitel 7 erläutert) in der unterschiedlichen Konstruktion der Indices bzw. den zugrunde liegenden Dosis-Wirkungskurven. Während der Index Belästigung auf den äquivalenten Dauerschallpegeln im Tagzeitraum beruht und die Dosis-Wirkungskurve einen steilen Verlauf hat (vgl. Abbildung 17), greift der Index im Nachtzeitraum auf die Anzahl der Aufwachreaktionen zurück, die verwendete Dosis-Wirkungskurve hat einen eher flacheren Verlauf (vgl. Abbildung 28)³⁸. Der Index für Aufwachreaktionen reagiert dementsprechend deutlich träger auf Pegelveränderungen als der Index im Tagzeitraum.

Auch die Modellierung der Umrüstung auf K-Sohlen zeigt im Nachtzeitraum eine prozentual geringere Wirksamkeit als für den Tag.

Trotz dieser im Vergleich weniger starken Veränderung stellt die Umrüstung auf K-Sohlen auch im Nachtzeitraum die - von den untersuchten - wirkungsvollste Maßnahme zur Verringerung der Lärmbelästigung mit einem Minderungspotential von etwas über 25 % dar.

³⁸ Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass der Gültigkeitsbereich der Dosis-Wirkungskurve der DLR-Studie die im Mitterheintal auftretenden sehr hohen Maximalpegel nicht abdeckt. Es sollte ggf. in Betracht gezogen werden, für das Untersuchungsgebiet spezifische Dosis-Wirkungskurven zu erheben.

9 Abschätzen des Einflusses einer schallharten akustischen Umgebung

Die Ausbreitungsrechnungen gemäß Schall 03 bzw. VBUSch gehen von einem schallweichen Untergrund aus. Schallharte Flächen werden nicht berücksichtigt. Im Rahmen dieser Regelwerke gibt es keine Möglichkeit, den Einfluss schallharter Flächen (Rhein) zu modellieren.

Deshalb wird zunächst versucht, die Schienenstrecke als eine Linienschallquelle zu modellieren. Hierfür kann eine Ausbreitungsrechnung nach der DIN ISO 9613-2 „Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien“ (DIN, 1999) vom Oktober 1999 durchgeführt werden, die den Einfluss des Bodens berücksichtigt.

Die Untersuchungen beziehen sich auf eine Standardsituation (ebenes Gelände, keine Abschirmung). Die Auswirkungen von Rückreflexionen des Geländes (Berghänge / Talkessel) werden nicht berücksichtigt³⁹. Die Linienschallquelle wurde, wie die akustische Schiene, 0,15 m über den Boden gesetzt. Es wurde ein längenbezogener Schalleistungspegel gewählt, der in Verbindung mit Frequenzspektrum (Dieselmotor) und horizontaler Richtcharakteristik in der Schnittdarstellung etwa die gleiche Abstrahlung aufweist wie die akustische Schiene. Da die Ausbreitungsterme in der Schall 03 und VBUSch den Winkel zwischen Emissions- und Immissionsort berücksichtigen, ist eine exakte Nachbildung mit einer Linienschallquelle und deren Richtcharakteristik nicht möglich.

Zum Vergleich der Abstrahlung und der Schallausbreitung wurden folgende Untersuchungssituationen herangezogen:

- Schiene
- Linienschallquelle über schallweichem Untergrund⁴⁰
- Linienschallquelle über schallhartem Untergrund
- Linienschallquelle bei schallhartem Untergrund im Bereich des Rheins.

Bei der Modellierung des schallharten Untergrunds im Bereich des Rheins wurde eine Entfernung zwischen Quelle und Rheinufer von 75 m gewählt, was typisch für bebaute Bereiche im Mitterheintal ist. Für diesen Bereich links und rechts der Schiene (in den nachfolgenden Graphiken durch einen braunen Strich dargestellt) wurde ein Bodenabsorptionskoeffizient von 0,5 angenommen. Der Rhein (in der Graphik durch einen blauen Strich dargestellt) wurde mit einer Breite von 400 m und einem Bodenabsorptionskoeffizienten von 0 modelliert. Eine Berücksichtigung der Bodenstruktur des gegenüberliegenden Ufers und der dort verlaufenden Schiene erfolgte nicht, da aufgrund der geometrischen Ausbreitungsdämpfung die Pegel durch die jeweils auf der anderen Rheinseite verlaufende Schienenstrecke zu vernachlässigen sind.

In den Abbildungen ist in Form von Schnittlärnkarten die Ausbreitung in horizontaler Richtung dargestellt. Im Fall des schallharten Untergrunds ist ein deutlich anderes Ausbreitungsverhalten, bedingt durch bodennahe Reflexionen, als bei schallweichem Untergrund zu erkennen. Bei der Modellierung „Rhein“ zeigt sich ebenfalls bereits im quellennahen Bereich die

³⁹ Die Berghänge im Mittelheintal sind infolge von Bewuchs, Bebauung und Zerklüftung nicht als schallhart anzusehen.

⁴⁰ Schallhart: Bodenabsorptionskoeffizient hat den Wert 0

Schallweich: Bodenabsorptionskoeffizient hat den Wert 1

nicht verschwindende Reflexion des Bodens durch Pegelerhöhungen im Vergleich zur schallweichen Bodenstruktur.

Abbildung 40 Schnittlärmkarte Schiene

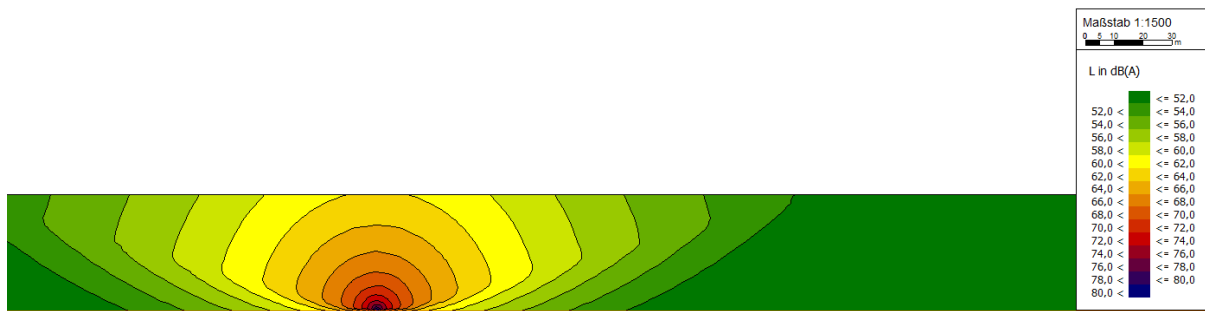


Abbildung 41 Schnittlärmkarte Linienschallquelle, schallweicher Untergrund

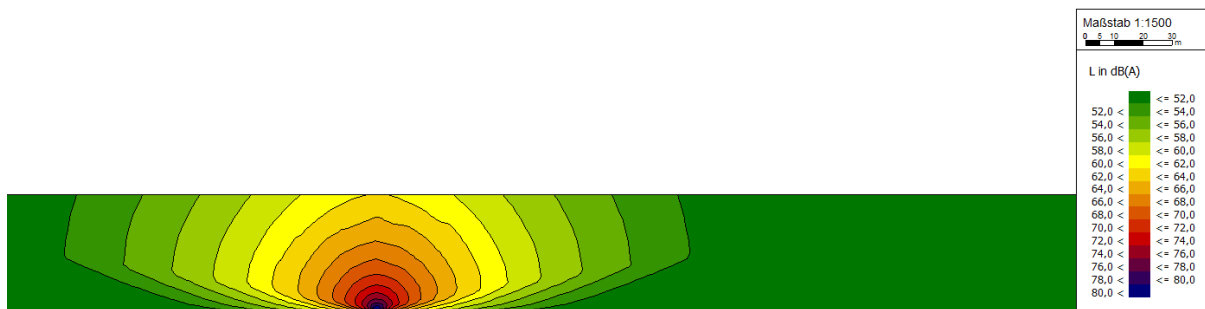


Abbildung 42 Schnittlärmkarte Linienschallquelle, schallharter Untergrund

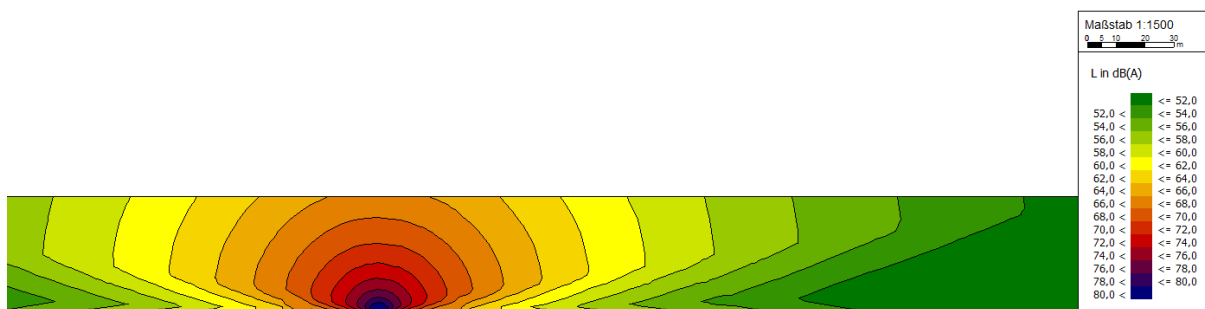
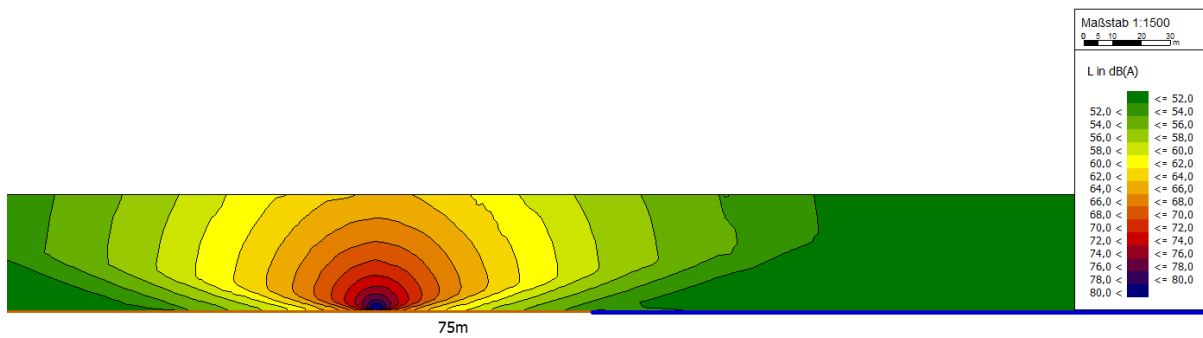


Abbildung 43 Schnittlärmmkarte Linienschallquelle, Rhein schallhart



Die horizontale Schallausbreitung für die vier Untersuchungsfälle ist in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Die Pegelerhöhung durch die schallharten Flächen ist deutlich sichtbar.

Abbildung 44 Isophonenkarte Schiene, 4m Höhe

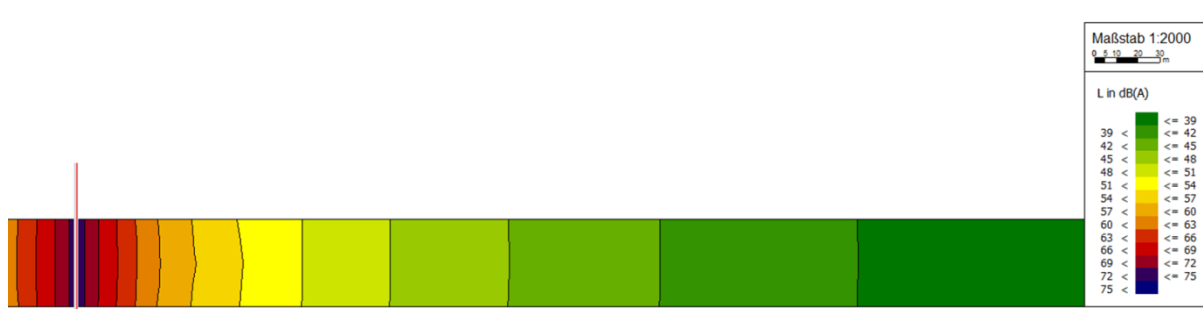


Abbildung 45 Isophonenkarte Linienschallquelle schallweich, 4m Höhe

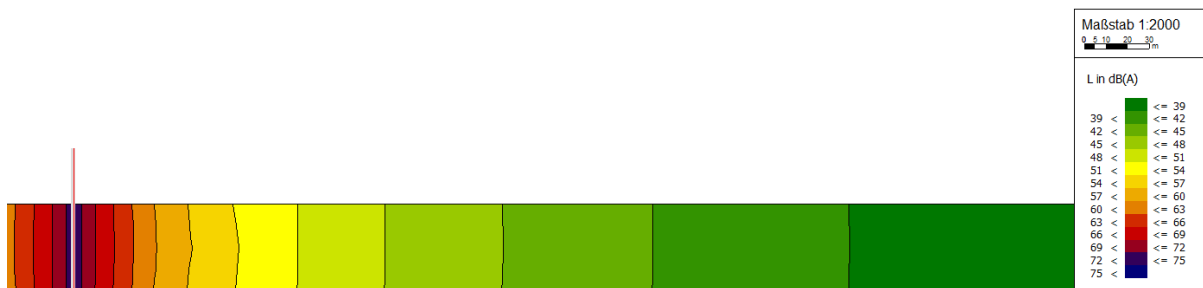


Abbildung 46 Isophonenkarte Linienschallquelle schallhart, 4m Höhe

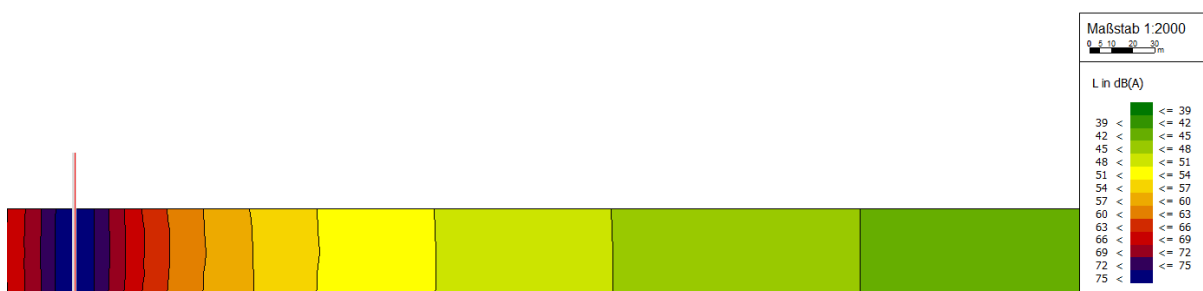
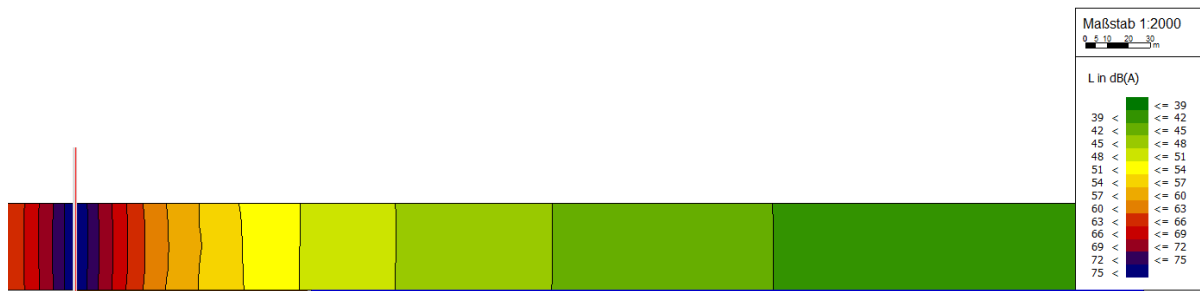


Abbildung 47 Isophonenkarte Linienschallquelle Rhein schallhart, 4m Höhe



Um quantitative Aussagen zur Pegelerhöhung durch die unterschiedlichen Untergrundstrukturen übersichtlich darstellen zu können, sind nachfolgend Differenzkarten aufgeführt. Diese spiegeln die Pegelunterschiede zwischen der Untersuchungssituation Linienschallquelle über schallhartem Untergrund bzw. Berücksichtigung des Rheins im Vergleich zur Situation Linienschallquelle über schallweichem Untergrund wider. Diese Pegelunterschiede fallen bei schallhartem Untergrund erwartungsgemäß deutlich stärker aus. Sie nehmen mit zunehmender Entfernung von der Schallquelle zu, sind aber, der obigen Argumentation folgend, auf der anderen Rheinseite nicht mehr wesentlich, da sie durch die Immissionen der auf der anderen Rheinseite verlaufenden Schienenstrecke dominiert werden. Bei der Modellierung der Situation „Rhein“ betragen die Pegelerhöhungen im „Gelände“ durchschnittlich etwa 3 dB (etwas geringer zur Schiene hin, etwas höher zum „Rhein“ hin).

Abbildung 48 Differenzkarte Linienschallquelle schallweich-schallhart

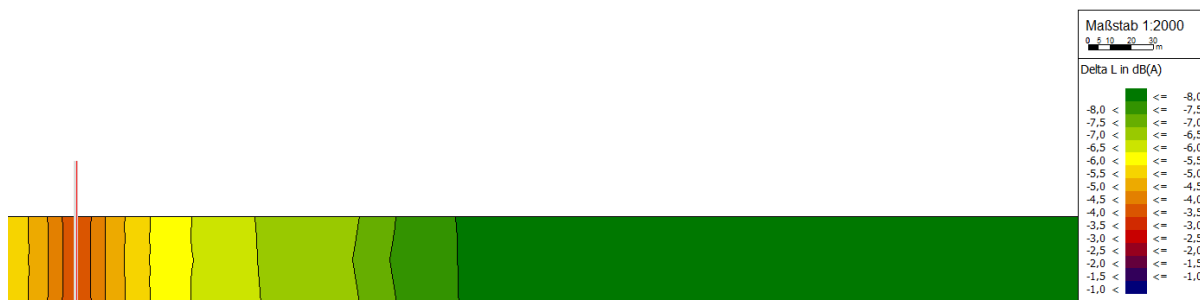
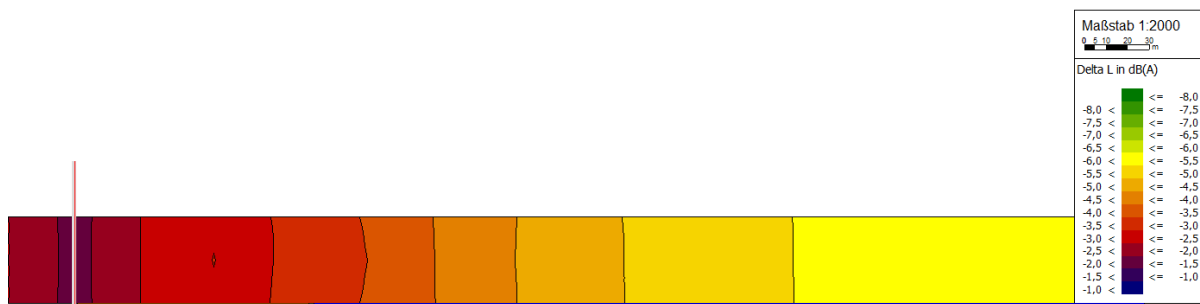


Abbildung 49 Differenzkarte Linienschallquelle schallweich-Rhein schallhart



Da die österreichische ÖAL-Richtlinie Nr. 3 Blatt 1 „Beurteilung von Schallimmissionen im Nachbarschaftsbereich“(ASI Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut,

Ausgabe: 2008) Frequenzspektrum und Bodeneffekte berücksichtigt, wurden die o.a. Untersuchungen auch nach dieser Berechnungsmethode durchgeführt. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse wiederum in Form von Schnittlärmkarten, Isophonenkarten sowie Differenzkarten. Aus diesen Abbildungen wird allerdings auch deutlich, dass die Berechnungsvorschriften keine identischen Ergebnisse liefern.

Abbildung 50 Schnittlärmkarte Schiene schallweicher Untergrund, ÖAL

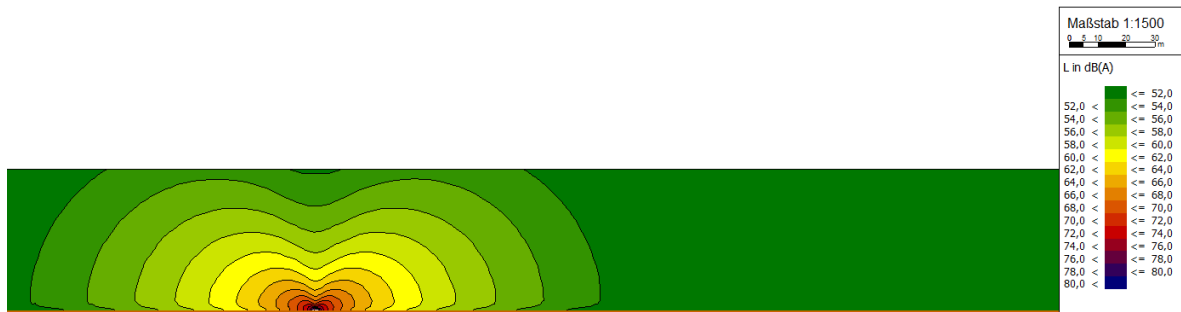


Abbildung 51 Schnittlärmkarte Schiene schallharter Untergrund, ÖAL



Abbildung 52 Schnittlärmkarte Schiene Rhein schallhart, ÖAL



Obwohl im Nahbereich und insbesondere in der Abstrahlung senkrecht zur Schienenachse deutliche Unterschiede zur deutschen Berechnungsvorschrift sichtbar werden, werden hinsichtlich des Untergrunds ähnliche Effekte deutlich, die bei der Modellierung der Schiene als Linienschallquelle mit unterschiedlichen Untergründen gefunden wurden.

Abbildung 53 Isophonenkarte Schiene schallweicher Untergrund, ÖAL, 4 m Höhe

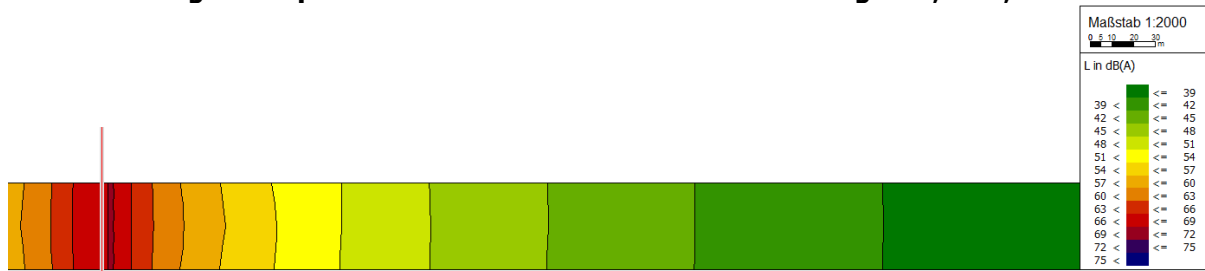


Abbildung 54 Isophonenkarte Schiene schallharter Untergrund, ÖAL, 4 m Höhe

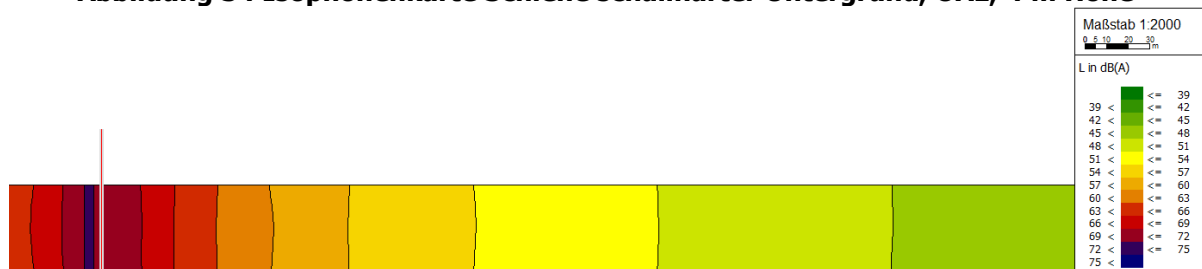
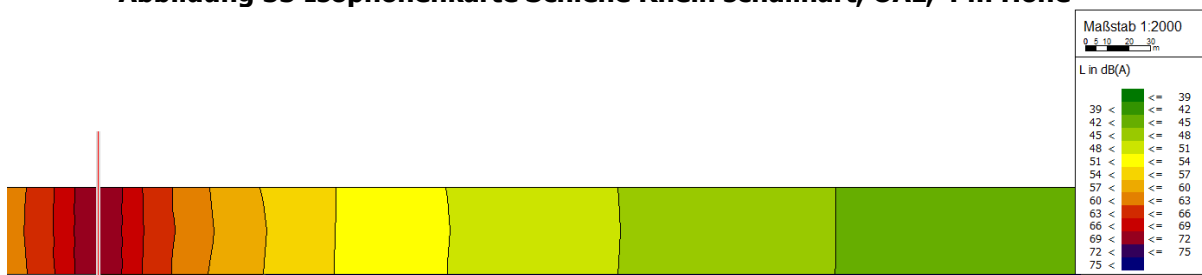


Abbildung 55 Isophonenkarte Schiene Rhein schallhart, ÖAL, 4 m Höhe⁴¹



Auch die Isophonenkarten nach der österreichischen Vorschrift sind den nach der deutschen Berechnungsmethode annähernd vergleichbar, ebenso die Effekte des Bodens auf die Schallausbreitung.

⁴¹ In den Abbildungen 55 und 56 ist das Gebiet, was den Bodeneffekt berücksichtigt nicht symmetrisch zur Schiene, sondern umfasst etwa das Rechengebiet. In der Abbildung 57 umfasst das „Bodengebiet“ einen Bereich der sich etwa gleichweit nach links und rechts von der Schiene erstreckt.

Abbildung 56 Differenzkarte Schiene schallweich-schallhart, ÖAL

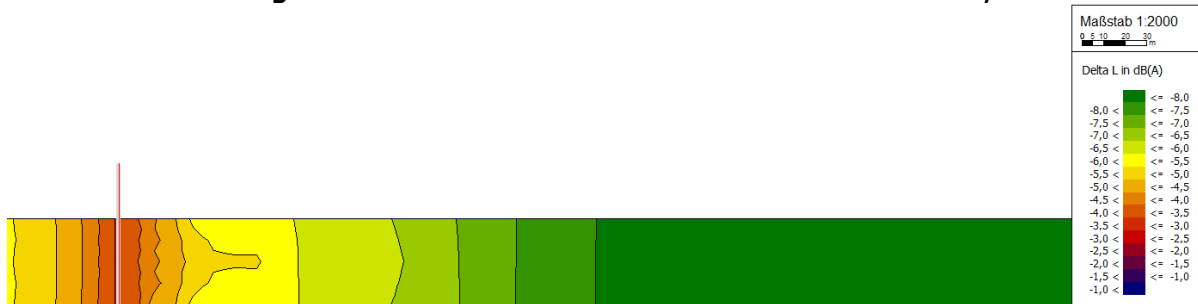
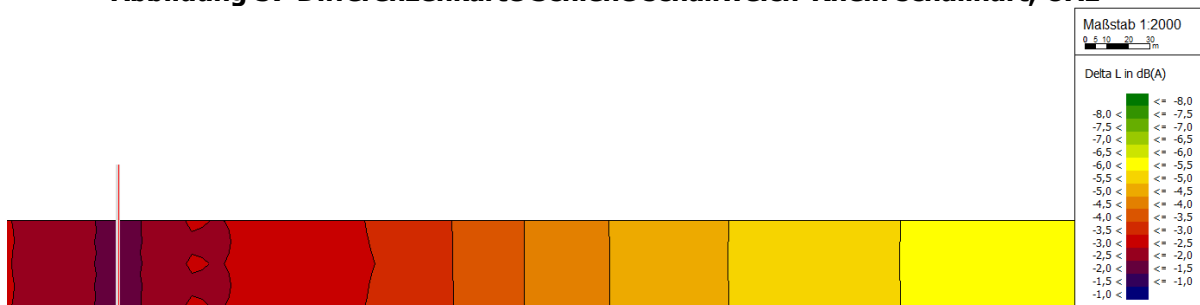


Abbildung 57 Differenzkarte Schiene schallweich-Rhein schallhart, ÖAL



Eine gewisse Vergleichbarkeit der beiden Modelle (Linienschallquelle vs. ÖAL) hinsichtlich der Tendenz des Einflusses des Untergrundes zeigt sich auch in den Differenzkarten. So betragen bei der Modellierung der Situation „Rhein“ die Pegelerhöhungen im „Gelände“ durchschnittlich etwa 3 dB (etwas geringer zur Schiene hin, etwas höher zum „Rhein“ hin). Allerdings treten, insbesondere bei den Differenzkarten, die Unterschiede zwischen den beiden Berechnungsverfahren vor allem in der Nähe der Quelle zu Tage.

Mit Hilfe der vorgestellten Modelle kann nur eine Tendenz angegeben werden, welche Auswirkungen die Nichtberücksichtigung schallharter Untergründe in der Umgebung der Schallquellen haben kann. Eine Übertragung auf die konkrete Immissionssituation im Mitterheintal (bspw. Fassadenpegel) ist nicht ohne weiteres möglich. Hier müssten weitere Untersuchungen, die auch das tatsächliche Gelände sowie Abschirmungen berücksichtigen, angestellt werden.

10 Probleme, Ausblick, Kritik

Im Rahmen der diesem Projekt vorausgegangenen Machbarkeitsstudie wurde der Vorschlag für einen praktikablen wirkungsbezogenen Schienenlärmindex auf der Grundlage der zur Verfügung stehenden Datengrundlage gemacht. Der Index soll, bei einem Verzicht auf die Angabe von Dezibel-Werten, sowohl die Belästigung durch Schienenverkehr am Tag als auch die zusätzlichen Aufwachreaktionen in der Nacht widerspiegeln.

Der Schienenlärmindex im Tagbereich beruht auf verorteten Dosis-Wirkungskurven zur Belästigung, deren zugrundeliegende Metrik der äquivalente Dauerschallpegel ist, während der Schienenlärmindex für den Nachtzeitraum auf einer Zunahme der Aufwachwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom maximalen Vorbeifahrtspegel basiert.

Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurde der Index für Belästigung im Tagbereich (von 06-22 Uhr) und der Index für Aufwachreaktionen für den Nachtbereich (von 22-06 Uhr) erstmalig für jede der Gemeinden des Mittelrheintals (Perimeter 1) und des Rheingaus bzw. Rheinhessen (Perimeter 2) sowie für diese beiden Perimeter zusammen ermittelt.

Für die Interpretation und Verwendung der Indexwerte (bspw. im Rahmen des 10-Punkte-Programms der Länder Rheinland-Pfalz und Hessen) muss jedoch auf einige Problembereiche und nicht vermeidbarere Pauschalisierungen (aufgrund ungenügender Datengrundlagen bei der Erstellung der Indices) hingewiesen werden.

Pauschalisierungen:

Bei der Erstellung des Digitalen Oberflächenmodells in Hessen konnte nicht auf Überfliegsdaten zurückgegriffen werden⁴². Analog zur Lärmkartierung 2007 wurden daher die Gebäudehöhen in Abhängigkeit von der Grundfläche und der Nutzungsart festgelegt.

Dieses Vorgehen wird allgemein bei ungenügender Datenlage angewendet, kann aber nur ungenau die wirklichen Gebäudehöhen wiedergeben. Auf der Grundlage der pauschalisierten Gebäudehöhen wurde dementsprechend auch die Geschosshöhe für jedes Gebäude mit einer Geschosshöhe von 2,80 m festgelegt. Für die hessischen Gemeinden lagen zudem keine Einwohnerdaten vor, auch diese Werte mussten mit einer Pauschalisierung abgeschätzt werden. Da die Ermittlung der Einwohnerzahl nach der VBEB auf der Grundfläche und der Geschosshöhe beruht, können sich nicht abschätzbare Fehler durch die pauschalisierte Gebäudehöhenzuweisung verstärkt bemerkbar machen.

Schienenendaten:

Die Datensätze zu den Zugzahlen und Zuggattungen mit ihren Spezifika (Geschwindigkeit, Scheibenbremsenanteil, zugspezifische Zuschläge) spiegeln den Stand von 2010 wider. Seitdem aufgetretene Änderungen sind nicht in den Indexberechnungen berücksichtigt. Es muss weiterhin berücksichtigt werden, dass die verwendeten Zugzahlen ein Jahresmittel darstellen und daraus keine tägliche Belastung abgeleitet werden kann. Insbesondere kann sich die tatsächliche Anzahl der Güterzüge von der zugrundegelegten unterscheiden, da diese bedarfsgesteuert fahren.

Auch in die Erstellung des Zugsetups gingen Pauschalisierungen ein. Die Angaben zu den Zugzahlen wurden strecken- und nicht gleisbezogen geliefert, die Zugzahlen mussten jeweils auf die beiden Gleise einer Strecke aufgeteilt werden.

⁴² Eine Ausnahme davon ist, wie im entsprechenden Kapitel aufgeführt, der Bereich, für den rheinland-pfälzische Höhendaten vorliegen. In diesen Gebieten wurden die Höhen aus dem DOM abgeleitet.

Schallschutzmaßnahmen:

Bei der Berechnung der Indexe konnten nur aktive Lärmschutzmaßnahmen (Lärmschutzwände und Lärmschutzwälle, sofern letztere im DGM abgebildet wurden) berücksichtigt werden, da zu den passiven Lärmschutzmaßnahmen wie Schallschutzfenstern oder Fassadendämmung keine auswertbaren Daten zur Verfügung standen. Da keine Aussagen zur Wohnraumnutzung bzw. zur Lage des Schlafzimmers und zum Fensteröffnungsverhalten vorlagen, wurde für die Berechnung des Nachtindexes der Innenraumpegel aus dem an der Gebäudefassade berechneten maximalen Vorbeifahrtspegel unter Berücksichtigung eines pauschalen Schalldämmmaßes von -15 dB, dies entspricht der Lärminderung eines gekippten Fensters, gewonnen.

Dosis-Wirkungskurven:

Die für das Untersuchungsgebiet spezifische Dosis-Wirkungskurve für die Beschreibung der Belästigung wurde auf der Basis der Befragungen Ende 2010 und Mitte 2011 erstellt und repräsentiert einen Stichprobenumfang von etwa 1200 Befragten.

Demgegenüber wurde die Dosis-Wirkungskurve des DLR für die Aufwachreaktionen in Abhängigkeit vom Maximalpegel im Bereich der Rheinschiene zwischen Köln und Koblenz auf der Grundlage einer Stichprobe von 33 Versuchspersonen erstellt. Der angegebene Pegelbereich umfasst dabei Maximalpegel zwischen 30 und 80 dB(A). Es wurde für die Berechnung des Aufwachindex vorausgesetzt, dass der der graphischen Dosis-Wirkungskurve zugrundeliegende mathematische Zusammenhang zwischen Pegel und Aufwachwahrscheinlichkeit auch bei höheren Maximalpegeln unverändert gültig ist (im Mitterheintal treten Pegel über 100 dB(A) auf). Das ist eine wesentliche Annahme, deren Gültigkeit in einer Erweiterung der DLR-Studie auf Belastungssituationen wie sie im Mittelrheintal vorliegen zu bestätigen wäre.

Berechnungsvorschrift:

Die Indexe wurden mit der derzeit in Deutschland für Schienenverkehrslärm anzuwendenden Berechnungsvorschrift Schall 03 von 1990 berechnet. Die Schall 03 berücksichtigt weder Bodendämpfungsmaße noch die unterschiedlichen Emissionspegel, die durch Wagenaufbauten (Kesselwagen etc.) entstehen können⁴³. Hinsichtlich der Bodendämpfungsmaße wird dementsprechend der Rhein nicht als schallharte Fläche bei der Pegelberechnung berücksichtigt. Es zeigte sich aber, dass es bei der Verwendung anderer Richtlinien oder der Modellierung als Linienschallquelle durchaus zu einer veränderten Schallausbreitung kommen kann (vgl. Kapitel 9).

Die Schall 03 berücksichtigt keine Maximalpegel. Für deren Berechnung wurde auf ein Modell von Möhler (1990) zurückgegriffen. Hierbei sind die Spezifika der Wagenaufbauten ebenso wenig berücksichtigt wie Schienenstöße, schlecht laufende Räder oder andere Quellen für Schlaggeräusche.

Der Index in seiner jetzigen Form kann die tatsächliche Belästigung aufgrund der genannten Datenlücken, Pauschalisierungen und Modellannahmen nur näherungsweise wiedergeben. Mit Blick auf die einzelnen Gemeinden und besonders auf die beiden Perimeter im Vergleich zueinander bestätigt sich jedoch die ursprüngliche Vermutung, dass die Belastung und Belästigung durch Schienenverkehr insbesondere im Mittelrheintal (durch die Enge des Tales und die unmittelbare Nähe zweier solch stark befahrener Haupteisenbahnstrecken) besonders hoch ist.

⁴³ In erster Linie wird der Emissionspegel durch den Rad-Schiene-Komplex bestimmt, jedoch können klappernde Wagenaufbauten einen hohen Maximalpegel hervorrufen. Dies wird in der Schall 03 nicht berücksichtigt, soll aber in der sich in Bearbeitung befindlichen Schall 03 (2006) zur Anwendung kommen.

Um den Index weitergehend auch als Monitoringinstrument für die Belästigung am Tag und die Schlafstörung in der Nacht zu nutzen und ggf. hinsichtlich seiner Datengrundlegung erweitern zu können, sollten folgende Punkte in die Überlegungen einbezogen werden:

1. Nutzen der Maßnahmen / Zielwerte:

Bei der Planung und Umsetzung von lärmindernden Maßnahmen ist zu beachten, dass nicht jede Gemeinde denselben Nutzen (widergespiegelt durch den Index) von einer Maßnahme hat, da die beiden Dosis-Wirkungskurven nicht linear verlaufen. Wenn für eine Gemeinde ein relativ hoher Indexwert ausgewiesen wurde, wirken sich hier die Maßnahmen prozentual stärker auf den Indexwert aus, als es bei einer Gemeinde mit einem mittleren Indexwert der Fall ist. Die Angabe eines allgemeinen Zielwertes (in Bezug zum Ausgangswert) (bspw.: „Alle Indexe der Gemeinden im Perimeter 1 sollen nicht höher als: „0,2“ tags und „6“ nachts sein“) ist damit nicht zielführend. Vielmehr sollte der berechnete Wert nach einer Maßnahme im Verhältnis zu dem Ausgangswert betrachtet werden.

2. Aktualisierungsrate

Der Index sollte neu berechnet werden bei:

- Wesentlichen Veränderungen der Zugzahlen oder Zuggattungen
- Vorliegen der exakten Gebäudehöhen und Einwohnerzahlen der hessischen Gemeinden
- Vorliegen auswertbarer Daten zu passiven Lärmschutzmaßnahmen
- Umsetzung innovativer Lärminderungsmaßnahmen wie Radabsorber und Niederschallschutzwände
- Einführung eines (lärmabhängigen) Trassenpreissystems

3. Pegelmaße

Wenn neue oder überarbeitete Berechnungsvorschriften eine Methode zur Berechnung der Maximalpegel angeben, sollte damit der Index für Aufwachreaktionen nachts neu berechnet werden.

4. Normierung der Indexwerte

Sowohl der Index für Belästigung tags als auch für Aufwachreaktionen nachts sind auf die Einwohnerzahl normierte Größen. Es könnte diskutiert werden, ob eine nicht-normierte Ausweisung der Indexe zur Widerspiegelung des Einflusses von Veränderungen in der Einwohnerstruktur sinnvoll ist.

5. Berücksichtigung der Berghänge und des Rheins

Die Schall 03 berücksichtigt weder Beschaffenheit die Berghänge (nur im DGM hinsichtlich der Schallausbreitung) noch den Rhein als schallharte Fläche. Die Berghänge sind im Mittelrheintal meist begrünt und damit nicht reflektierend, der Rhein als schallharte Fläche wird jedoch insbesondere im Hinblick auf die Belastung durch Maximalpegel im Nachtzeitraum nicht ausreichend berücksichtigt. In der neuen Schall 03 (2006) soll die Schallausbreitung über Wasserflächen berücksichtigt werden.

6. Getrennte Auswertung der Perimeter hinsichtlich der Dosis-Wirkungskurven

Wie in Kapitel 4 angeführt, stimmen die älteren Belästigungskurven von Miedema (Miedema & Oudshoorn, 2001) nicht mit der im Rahmen dieses Forschungsprojekts aktuell ermittelten Belästigungskurve für den Tagzeitraum für Perimeter 1 und 2 überein. Da die Auswertungen jedoch gezeigt haben, dass deutliche Unterschiede zwischen den beiden Perimetern hinsichtlich der Schallausbreitung und der Lärmbe-

lastung existieren, wird angeregt zu überprüfen, ob sich die Dosis-Wirkungskurven der beiden Perimeter unterscheiden. In diesem Fall sollten die gemeindebezogenen Indices für den Tageszeitraum unter Berücksichtigung der perimeterverorteten Dosis-Wirkungskurven neu berechnet werden.

Literaturverzeichnis

- ASI Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut. (Ausgabe: 2008). Beurteilung von Schallimmissionen im Nachbarschaftsbereich. *OEAL Richtlinie Nr. 3 Blatt 1*.
- Bundesanzeiger, N. 1. (22. Mai 2006). Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienenwegen.
- de Vos, P. M. (2007). *Der Weg zum leiseren Schienengüterverkehr. Anreize für die Umrüstung von Güterwagen auf Flüstersohlen*. Berlin: Endbericht für das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung sowie das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.
- Deutsche Bahn AG. (22. 03 2011). *www.deutschebahn.com*. Abgerufen am 17. 01 2012 von Flüsterbremse reduziert Lärmbelastung:
<http://www.deutschebahn.com/site/bahn/de/nachhaltigkeit/umwelt/laermminderung/fluesterbremse/fluesterbremse.html>
- Deutsche Bundesbahn. (1990). Richtlinie zur Berechnung der Schallemissionen von Schienenwegen – Schall 03. Zentralamt München.
- DIN. (1999). ISO 9613-2 Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien.
- DLR. (2010). *Wirkungsorientierte Bewertung unterschiedlicher Verkehrslärmarten: Teilvorhaben DLR: Metaanalyse und Feldstudie. Abschlussbericht*. Köln: DEUFRAKO/RAPS.
- Giering, K., & Augustin, S. (2010). *Machbarkeitsstudie: Lärmkontingentierung Schienenverkehrs-lärm Mittelrheintal*. Birkenfeld: FH Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld.
- Kempiak, R., & Petz, M. (2007). *Lärmkartierung Hessen 2007 - Abschlussbericht*. Greifenberg: Accon GmbH Ingenieurbüro für Schall- und Schwingungstechnik.
- Miedema, H., & Oudshoorn, C. (2001). *Annoyance from Transportation Noise: Relationships with Exposure Metrics DNL and DENL and Their Confidence Intervals*. *Environmental Health Perspectives* 109, Seiten 409-416.
- Möhler, U. (1990). Spitzenpegel beim Schienenverkehrslärm. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 37, S. 35-40.
- Oertli, J. H. (2008). *Sachstandsbericht 2007: Lärmbekämpfung im Schienengüterverkehr*. Paris: International Union of Railways.
- Schreckenberger, D. (2011). *Belästigung durch Bahnlärm im Mittelrheintal und im Rheingau / Rheinhessen*. Hagen.
- VBEB. (2007). *Vorläufige Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm*. Bundesanzeiger Nr. 75 vom 20. April 2007.

