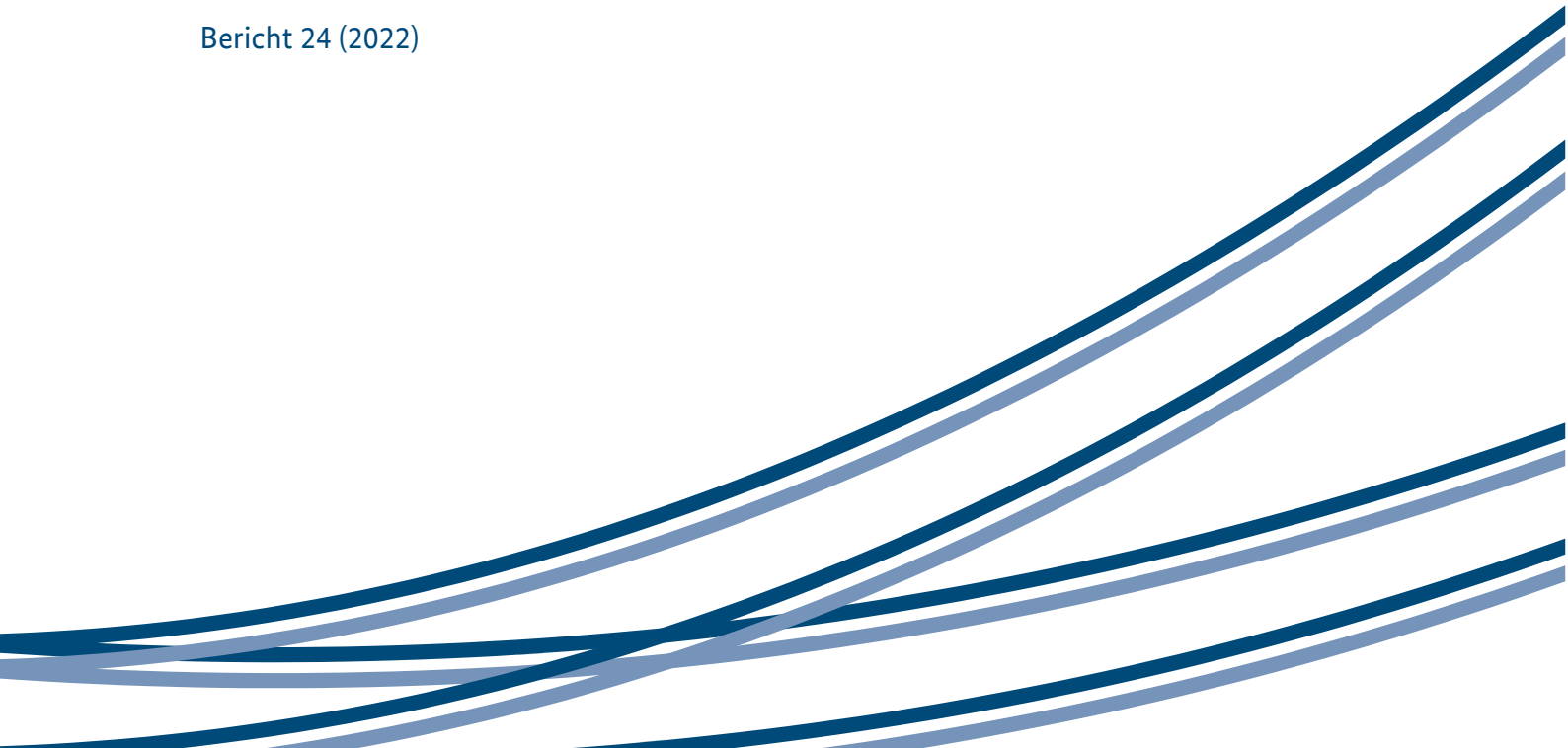




Berichte  
des Deutschen Zentrums  
für Schienenverkehrsforschung

Bericht 24 (2022)



# Evaluierung der Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms an Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes





Berichte des Deutschen Zentrums  
für Schienenverkehrsforschung, Bericht 24 (2022)  
Projektnummer 2018-U-X-1202

## Evaluierung der Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms an Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes

von

Manfred Liepert, Alfred Beronius, Dr. Christine Huth, Michael Guggumos  
Möhler + Partner Ingenieure AG, Augsburg

Dr. Dirk Schreckenber, Sarah Benz  
ZEUS GmbH, Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung, Hagen

Im Auftrag des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

# Impressum

## HERAUSGEBER

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

August-Bebel-Straße 10  
01219 Dresden

[www.dzsf.bund.de](http://www.dzsf.bund.de)

## DURCHFÜHRUNG DER STUDIE

Möhler + Partner Ingenieure AG  
Prinzstraße 49  
86153 Augsburg

ZEUS GmbH, Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung  
Sennbrink 46  
58093 Hagen

## ABSCHLUSS DER STUDIE

Juni 2021

## REDAKTION

DZSF

Jenny Böhm, Philipp Rollin, Forschungsbereich Umwelt und nachhaltige Mobilität

## BILDNACHWEIS

Simon Kohler / Möhler + Partner Ingenieure AG / S. 2, 109, 131

Christine Huth / Möhler + Partner Ingenieure AG / S. 115

## PUBLIKATION ALS PDF

<https://www.dzsf.bund.de/Forschungsergebnisse/Forschungsberichte>

ISSN 2629-7973

[doi: 10.48755/dzsf.220010.01](https://doi.org/10.48755/dzsf.220010.01)

Dresden, Juni 2022

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzbeschreibung .....</b>	<b>9</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>13</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>17</b>
1.1 Ziele des Forschungsvorhabens .....	18
1.2 Vorgehensweise .....	18
1.2.1 AP 1 und 2: Darstellung der erreichten Lärminderung durch das Lärmsanierungsprogramm und des Fortschritts der Lärminderung. ....	19
1.2.2 AP 3: Beschreibung der genutzten Maßnahmen mit ihrer Wirkweise und den Vor- und Nachteilen .....	20
1.2.3 AP 4: Psychosoziale Ermittlung des subjektiven Eindrucks von Nutzen und Wirkung der Lärmsanierung bei betroffenen Anwohnenden sowie Akzeptanz.....	20
1.2.4 AP 5: Messtechnische Überprüfung der Pegelminderung durch Maßnahmen der Lärmsanierung.....	20
1.2.5 AP 6: Empfehlungen für die zukünftige Fortführung der Lärmsanierung.....	21
<b>2 Darstellung der durch das Lärmsanierungsprogramm erreichten Lärminderung sowie Abschätzung des noch benötigten Umsetzungszeitraums und finanziellen Volumens.....</b>	<b>22</b>
2.1 Datengrundlage.....	22
2.2 Vorgehensweise bei der Auswertung der schalltechnischen Untersuchungen.....	23
2.3 Darstellung der erreichten Ziele durch das Lärmsanierungsprogramm.....	23
2.3.1 Darstellung der sanierten Abschnitte .....	23
2.3.2 Darstellung der geplanten und umgesetzten Maßnahmen.....	24
2.3.3 Darstellung der lärmmentlasteten Anwohnenden.....	27
2.3.4 Darstellung der erreichten mittleren Pegelminderung durch aktive Maßnahmen .....	31
2.3.5 Haushaltsmittel für die Lärmsanierung.....	33
2.3.6 Prognose des weiteren Fortschritts der Lärmsanierung .....	34
<b>3 Beschreibung der genutzten Techniken und ihrer Wirkungsweise .....</b>	<b>38</b>
3.1 Erforderliche Zulassungen und Nachweise .....	38
3.2 Darstellung der Ergebnisse.....	39
3.2.1 Schallschutzwand .....	39
3.2.2 Niedrige Schallschutzwand .....	40
3.2.3 Schienenstegdämpfer .....	41
3.2.4 Schienenstegabschirmung.....	42
3.2.5 Schienenschmier- und - konditionieranlagen .....	43

3.2.6	Unterschottermatten.....	44
3.2.7	Hochelastische Schienenlagerung.....	45
3.2.8	Brückendämpfer .....	46
<b>4</b>	<b>Subjektiver Eindruck von Nutzen und Wirkung der Lärmsanierung bei betroffenen Anwohnenden .....</b>	<b>47</b>
4.1	Psychologisch-sozialwissenschaftlicher Teil .....	47
4.1.1	Untersuchte Gebiete und Adressgewinnung.....	47
4.1.2	Inhalt der Befragung.....	56
4.1.3	Durchführung der Befragung.....	56
4.1.4	Beschreibung der Stichprobe.....	58
4.1.5	Statistische Verfahren.....	59
4.2	Ergebnisse.....	59
4.2.1	Stichproben in den Untersuchungsgebieten.....	59
4.2.2	Veränderungserwartung und Veränderungseinschätzung.....	60
4.2.3	Wirkungsindikatoren Belästigung und Schlafstörung.....	67
4.2.4	Bewertung der Schallschutzmaßnahmen.....	75
4.2.5	Der Einfluss von nicht-akustischen Faktoren beim Schienenverkehrslärm.....	90
4.2.6	Korrelationen/Zusammenhänge von Wirkungsindikatoren Belästigung, Schlafstörungen, Zufriedenheitswertungen der Maßnahmen und nicht-akustischen Faktoren.....	97
4.2.7	Kommunikation von und Informationen über die Maßnahmen.....	98
4.2.8	Limitationen der psychologisch-sozialwissenschaftlichen Untersuchung.....	105
4.2.9	Zusammenfassung der psychologisch-sozialwissenschaftlichen Untersuchung .....	106
4.3	Psychoakustischer Teil.....	108
4.3.1	Durchführung der Messungen.....	108
4.3.2	Signalanalysen.....	111
4.3.3	Randbedingungen der psychoakustischen Experimente .....	116
4.3.4	Ergebnisse Schallschutzwand.....	117
4.3.5	Ergebnisse Schienenstegdämpfer.....	118
4.3.6	Zusammenfassung der psychoakustischen Untersuchung .....	118
4.4	Zusammenführung des psychologisch-sozialwissenschaftlichen und des psychoakustischen Teils.....	122
<b>5</b>	<b>Messtechnische Ermittlung der Pegelminderung durch Maßnahmen der Lärmsanierung</b>	<b>125</b>
5.1	Aufgabenstellung.....	125
5.2	Ermittlungsmethodik.....	125
5.3	Gebietsauswahl .....	125
5.3.1	Happing – Rosenheim .....	126
5.3.2	Westendorf.....	128

5.4	Messdurchführung .....	130
5.4.1	Messverfahren .....	130
5.4.2	Messgeräte .....	130
5.4.3	Messzeit und Witterungsbedingungen .....	131
5.4.4	Gleiszustand der Messquerschnitte .....	131
5.5	Messergebnisse .....	133
5.5.1	Messergebnisse Happing .....	133
5.5.2	Messergebnisse Westendorf .....	137
5.6	Zusammenfassende Bewertung der Messungen .....	143
<b>6</b>	<b>Empfehlungen für die zukünftige Fortführung der Lärmsanierung .....</b>	<b>145</b>
6.1	Bereits implementierte Verbesserungen.....	145
6.1.1	Überarbeitung des Gesamtkonzepts und der Förderrichtlinie .....	146
6.1.2	Harmonisierung Lärmsanierung - Lärmaktionsplanung .....	146
6.2	Vorschläge zur Verbesserung zur Fortführung des Programms .....	146
6.2.1	Einführung von Building-Information-Modeling (BIM) in den Planungsprozess .....	147
6.2.2	Einbindung von Bürgern .....	148
6.2.3	Überarbeitung der Formel für das Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) und Einführung eines Maximalkriteriums.....	149
6.2.4	Erhöhung der bereit gestellten Mittel .....	150
	<b>Formelzeichen- und Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>151</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>154</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>165</b>
	<b>Quellenverzeichnis.....</b>	<b>167</b>
	<b>Anhänge.....</b>	<b>170</b>





# Kurzbeschreibung

Ziel dieses Vorhabens „Evaluierung der Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms an Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes“ war es, insbesondere folgende Fragen zu beantworten:

- Welche Lärminderung wurde durch das Lärmsanierungsprogramm im Zeitraum von 1999 bis 2018 erreicht und wie stellt sich der bisherige Fortschritt der Lärmsanierung dar?
- Welche Methoden der Lärmsanierung wurden genutzt? Welche Vor- und Nachteile gibt es jeweils?
- Welchen subjektiven Eindruck von Nutzen und Wirkung der Lärmsanierung haben betroffene Anwohnende? Wie hoch ist die Akzeptanz der Lärmsanierung?
- Wieweit kann der Erfolg der Lärmsanierung durch Messungen bestätigt werden?
- Welche Empfehlungen gibt es für die zukünftige Fortführung der Lärmsanierung?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden u. a. umfangreiches Datenmaterial (Schalltechnische Untersuchungen, Übersichtsdokumentationen, Finanzunterlagen der DB Netz AG) gesichtet und aufbereitet, sozioakustische Befragungen in Untersuchungsgebieten und Hörversuche im Labor durchgeführt, Schallmessungen durchgeführt und mit Rechenergebnissen verglichen und schließlich die Ergebnisse im Hinblick auf Empfehlungen für die Fortführung der Lärmsanierung zusammengefasst. Im Einzelnen:

*Frage 1: Welche Lärminderung wurde durch das Lärmsanierungsprogramm im Zeitraum von 1999 bis zum 31.12.2018 erreicht und wie stellt sich der bisherige Fortschritt der Lärmsanierung dar?*

Im Zeitraum von 1999 bis Ende 2018 wurden rund 1.000 Lärmsanierungsbereiche schalltechnisch untersucht und Maßnahmen des Schallschutzes umgesetzt. Die schalltechnischen Untersuchungen dieses Zeitraums haben für rund 626.000 Anwohnende förderfähige Schallschutzmaßnahmen ergeben. Davon wurden zur Unterschreitung der Auslösewerte bei 306.000 Anwohnenden ausschließlich aktive Schallschutzmaßnahmen in Form von Schallschutzwänden vorgesehen. Bei weiteren 140.000 Anwohnenden sind zusätzlich passive Maßnahmen (in der Regel in Form von Schallschutzfenstern und/oder schallgedämmte Lüftungseinrichtungen) als förderfähig ermittelt worden, da bei ihnen die Auslösewerte durch die aktiven Maßnahmen allein nicht vollständig unterschritten wurden. Bei 180.000 Anwohnenden waren trotz Überschreitung der Auslösewerte aktive Maßnahmen nicht förderfähig, so dass ausschließlich passive Maßnahmen gefördert wurden. Der überwiegende Teil der aktiven Schallschutzmaßnahmen waren Schallschutzwände, nur in Ausnahmefällen kamen alternative Formen wie Gabionen zum Einsatz. Seit Beginn des Lärmsanierungsprogramms ergaben sich rund 1.066 km förderfähige Schallschutzwände, wovon bis Ende 2018 561 km baulich umgesetzt wurden, während sich die restlichen Schallschutzwände noch in Planung oder baulicher Umsetzung befanden. Passive Maßnahmen wurden in Form von Schallschutzfenstern und/oder schallgedämmten Lüftungseinrichtungen an rund 60.000 Wohneinheiten umgesetzt. Von den zur Verfügung gestellten Bundeshaushaltsmitteln wurden im Zeitraum von 1999 bis Ende 2018 1,3 Mrd. € vom Lärmsanierungsprogramm abgerufen.

Die schalltechnischen Untersuchungen sowie das Gesamtkonzept und die Förderrichtlinie des Lärmsanierungsprogramms wurden stetig verbessert und fortgeschrieben. So entfiel der sogenannte „Schienenbonus“ von 5 dB bei der Berechnung der Lärmpegel im Jahr 2015 und im Jahr 2016 wurden zudem die Auslösewerte der Lärmsanierung um 3 dB abgesenkt. Durch diese Anpassungen erweisen sich mehr und höhere Schallschutzwände als förderfähig, so dass in den letzten Jahren fast ausschließlich Schallschutzwände mit einer Höhe von 3,0 m über Schienenoberkante geplant und gebaut wurden, während in den Anfangsjahren des Lärmsanierungsprogramms zum Großteil Schallschutzwände mit einer Höhe von 2,0 m über Schienenoberkante geplant und gebaut wurden.

*Frage 2: Welche Methoden der Lärmsanierung wurden genutzt? Welche Vor- und Nachteile gibt es jeweils?*

Nach der Förderrichtlinie werden aktive und passive Maßnahmen zum Lärmschutz gefördert. Die Abwägung zwischen aktiven und passiven Maßnahmen erfolgt nach Nutzen-Kosten-Gesichtspunkten der Förderrichtlinie. Aktive Maßnahmen sind vorrangig zu passiven Maßnahmen umzusetzen, wobei passive als zusätzliche Maßnahmen umzusetzen sind oder wenn bei aktiven Maßnahmen das Nutzen-Kosten-Verhältnis kleiner 1 ausfällt.

Der Vorteil von aktiven Maßnahmen (z. B. Schallschutzwänden) gegenüber passiven Maßnahmen (z. B. Schallschutzfenstern) ist die Pegelminderung auf dem Ausbreitungsweg, wodurch auch der Außenwohnbereich (Balkone und Gärten) eine Pegelminderung erfährt. Der Nachteil dieser Schallschutzmaßnahme ist der Eingriff ins Orts- und Landschaftsbild, was die Akzeptanz der Maßnahme nachteilig beeinflussen kann. Passive Maßnahmen hingegen führen zu einer Pegelminderung, ohne die Sichtbezüge der Anwohnenden zu beeinträchtigen.

Im Rahmen der Neufassung der Förderrichtlinie der Lärmsanierung vom Dezember 2018 wurden Zuschlagsfaktoren bei der Ermittlung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses eingeführt, die u. a. den Eingriff ins Ortsbild bei touristischen Attraktionen berücksichtigen sollen. Die Ergebnisse und Erfahrungen im Zusammenhang mit diesen Zuschlagsfaktoren können erst in den kommenden Jahren bewertet werden.

*Frage 3: Welchen subjektiven Eindruck von Nutzen und Wirkung der Lärmsanierung haben betroffene Anwohnenden? Wie hoch ist die Akzeptanz der Lärmsanierung?*

Nach einer Befragung von Anwohnenden an Schienenstreckenabschnitten, an denen Schallschutzwände, Schienenstegdämpfer und passiver Schallschutz gebaut wurden, ergibt sich das folgende Bild:

Die verbleibende durchschnittliche Schienenverkehrslärmbelästigung erwies sich bei den Gebieten mit Schienenstegdämpfern nach deren Installation höher als in den Gebieten, in denen Schallschutzwände oder passive Schallschutzmaßnahmen errichtet wurden. Die geringste verbleibende Schienenverkehrslärmbelästigung zeigte sich bei der Gabionenwand gefolgt von passiven Schallschutzmaßnahmen. Dieses Ergebnis findet sich auch in der Zufriedenheit der Anwohnenden wieder. Nicht-akustische Faktoren wie die Informiertheit und der Einbezug der Bevölkerung scheinen neben den akustischen Unterschieden eine wesentliche Bedeutung für die Maßnahmenakzeptanz zu haben. Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse auf die Gesamtheit an Anwohnenden an bundesdeutschen Bahnstrecken, an denen die Implementierung von Schallschutzmaßnahmen stattgefunden hat bzw. vorgesehen ist, ist mit den vorliegenden Ergebnissen nicht möglich. Vielmehr geben die Ergebnisse erste Hinweise auf die Wahrnehmung unterschiedlicher Schallschutzmaßnahmen an Schienenverkehrswegen. In jedem der Untersuchungsgebiete liegen zudem individuelle, spezifische Gegebenheiten vor, die potentiell eine Rolle spielen für die Ausprägung von Lärmwirkungsfaktoren.

Zur Bewertung der rein akustischen, subjektiven Wirkung von Lärminderungsmaßnahmen wurde außerdem eine psychoakustische Laborstudie zur Wirksamkeit der Lärmsanierungsmaßnahmen durchgeführt. Hierzu wurden Messungen mit und ohne Maßnahme an Strecken mit Schallschutzwand bzw. Schienenstegdämpfer durchgeführt. Diese Aufnahmen wurden von Versuchspersonen unter Laborbedingungen im Hörversuch hinsichtlich ihrer Lästigkeit beurteilt.

Bei Einsatz einer Schallschutzwand ergibt sich in der auditiven Wirkung eine deutliche Reduzierung der Lästigkeit. Bei Einsatz der Maßnahme Schienenstegdämpfer hingegen konnte keine Verbesserung der Lästigkeit nachgewiesen werden. Die Reduzierung der Lästigkeit korreliert hoch sowohl mit der Abnahme der Lautheit, mit der des maximalen A-bewerteten Schalldruckpegels und des gemittelten

A-bewerteten Vorbeifahrtpegels. So können durch Betrachtung dieser Größen Rückschlüsse auf die voraussichtliche Reduzierung der Lästigkeit aufgrund der jeweiligen Lärmsanierungsmaßnahme gezogen werden. Aus den durchgeführten Hörversuchen ergibt sich weiterhin, dass für eine Halbierung der empfundenen Lästigkeit eine Absenkung des gemittelten Vorbeifahrtpegels von mindestens 15 dB nötig ist.

*Frage 4: Wieweit kann der Erfolg der Lärmsanierung durch Messungen bestätigt werden?*

In zwei Untersuchungsgebieten wurden Messungen der Schallimmissionen an Berechnungspunkten der Lärmsanierung durchgeführt und die Messwerte den Rechenwerten gegenübergestellt. Während im Untersuchungsgebiet Happing die Berechnung nach Schall 03 2015 erfolgte, basiert die Berechnung in Westendorf auf der Schall 03 1990.

Sowohl nach Schall 03 2015 als auch nach Schall 03 1990 liegen die Messwerte tags und nachts ca. 10 dB unterhalb der in den schalltechnischen Untersuchungen durch Berechnung prognostizierten Werten. Der Unterschied zwischen Berechnung und Messung ist durch die in der Prognose gegenüber den tatsächlichen Gegebenheiten erhöhten Eingangsparameter verursacht. Dies sind insbesondere die Zahl der Züge, der Umrüstgrad der Güterzüge, die Zuggeschwindigkeiten und Zuglängen, die in der Prognose z. T. deutlich höher sind als tatsächlich vor Ort gemessen. Den größten Beitrag zum Unterschied zwischen Messung und Berechnung leisten in Happing die Zugzahlen der in der Prognose zugrunde gelegten NBS München-Kiefersfelden und in Westendorf die zwischenzeitlich fortgeschrittene Umrüstung der Güterzüge auf lärmarme Verbundstoffbremsen, die in den Prognoseverkehrsmengen noch nicht berücksichtigt wurde und zudem nach Schall 03 1990 auch nicht berücksichtigt werden konnten.

Korrigiert man die Rechenwerte hinsichtlich der Eingangsparameter verbleiben noch um ca. 3 dB geringere Messwerte als Rechenwerte, die zumindest teilweise auf den guten Schienenzustand in beiden Messquerschnitten zurückgeführt werden können.

In beiden Untersuchungsgebieten wurde in Querschnitten sowohl ohne als auch mit Wand gemessen und diese Differenz mit der berechneten Pegelminderung durch die Wand verglichen. Die Messpunkte lagen dabei jeweils in der ersten und damit am stärksten betroffenen Hausreihe. Die je nach Mikrofonhöhe gemessene Pegelminderung durch die Wand von 9 dB bis 13 dB stimmt in beiden Untersuchungsgebieten mit Abweichungen von 0 dB bis 2 dB gut mit den rechnerisch prognostizierten Pegelminderungen überein.

Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, dass die Messungen die vorgenommenen Prognoseberechnungen bestätigen. Nur die Prognoseberechnungen können die geplante Auslastung der Strecke berücksichtigen. Zudem kann für die große Anzahl der zu berücksichtigenden Gebäude in einem Sanierungsabschnitt nur durch Berechnung eine Ermittlung reproduzierbarer Beurteilungspegel mit vertretbarem Aufwand erreicht werden.

*Frage 5: Welche Empfehlungen gibt es für die zukünftige Fortführung der Lärmsanierung?*

Durch die geplante Verkehrsverlagerung von der Straße auf den klimafreundlicheren Verkehrsträger Schiene ist ein Anstieg des Personen- und Güterverkehrs auf der Schiene zu erwarten. Die Verkehrsverlagerung kann nur gelingen, wenn es in der Bevölkerung eine entsprechende Akzeptanz für den Schienenverkehr gibt. Für diese Akzeptanz ist eine leise Schiene eine wesentliche Voraussetzung. Das Lärmsanierungsprogramm spielt neben den gesetzlichen verankerten Instrumenten der Lärmbekämpfung - der Lärmvorsorge nach 16. BImSchV sowie der Lärmkartierung bzw. Lärmaktionsplanung nach 34. BImSchV - eine Hauptrolle bei der Reduzierung des Schienenlärms entlang des Streckennetzes in Deutschland.

Das neue Lärmschutzziel 2030 der Bundesregierung, die Zahl der vom Schienenlärm Betroffenen zu halbieren, ist hauptsächlich durch das Lärmsanierungsprogramm zu erreichen. Um die Akzeptanz für das Lärmsanierungsprogramm sicherzustellen, ist eine transparente, für Anwohnende verständliche und effektive Umsetzung des Programms notwendig. Während des bislang 20-jährigen Lärmsanierungsprogramms ist dessen Durchführung durch das BMDV, das EBA und die DB Netz AG stetig optimiert und verbessert worden.

Um das Lärmschutzziel 2030 erreichen zu können, ist jedoch eine beschleunigte Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms erforderlich. Diese kann in erste Linie mit einem erhöhten Mittelansatz erreicht werden. Die Planung kann ggf. durch die Einführung von Werkzeugen des Building-Information-Modeling (BIM) beschleunigt werden. Dabei werden bei einer Vernetzung der Fachplanungen sowohl die Planungsprozesse selbst beschleunigt als auch die Dokumentation vereinheitlicht und verbessert, was insbesondere im Falle von Nachsanierungen erheblich hilft, Ressourcen zu sparen.

Eine fehlende Akzeptanz von Lärmsanierungsmaßnahmen kann zu Verzögerungen des Verfahrens durch Einsprüche von Anwohnenden oder sogar Klagen führen. Daher wird eine enge Einbindung bei der Entscheidungsfindung über die Wahl von Lärmschutzmaßnahmen vorgeschlagen.

Schließlich wird auch eine Überprüfung der Formel zur Ermittlung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses (NKV) vorgeschlagen, um die stetig steigenden Erstellungskosten für aktive Lärmschutzmaßnahmen zu kompensieren.

Gelingt eine Beschleunigung des Fortschritts der Lärmsanierung durch die Verbesserung der Rahmenbedingungen, sollte diese durch eine sukzessive Erhöhung der bereitgestellten Haushaltsmittel begleitet werden.

# Abstract

The aim of this project „Evaluation of the Implementation of the Noise Abatement Programme on Federal Railways” was to answer the following questions:

- What noise reduction was achieved by the noise abatement programme in the period between 1999 and 2018 and what is the progress of noise reduction to date?
- Which methods of noise abatement have been used? What are the advantages and disadvantages in each case?
- What is the subjective impression of the affected residents concerning the benefits and effects of the noise reduction measures? How high is the acceptance of the noise abatement?
- To what extent can the success of noise abatement be confirmed by measurements?
- What are the recommendations for the future continuation of the noise abatement programme?

To answer these questions extensive data material (noise studies, general documentation, financial documents of the DB Netz AG) was screened and prepared and social acoustic surveys in areas under examination as well as listening tests in the laboratory were conducted. Moreover, sound measurements were undertaken and compared with calculation results, and finally the results were summarised with regard to recommendations for the continuation of the noise abatement programme. In detail:

*Question 1: What noise reduction was achieved by the noise abatement programme in the period from 1999 to 2018 and what is the progress of noise reduction to date?*

In the period from 1999 to 2018, approximately 1,000 noise abatement areas were examined and noise protection measures were implemented.

The sound engineering studies conducted during this period revealed eligible noise protection measures for approximately 626,000 residents. Of these, exclusively active noise protection measures in the form of noise barriers were planned for 306,000 residents. For a further 140,000 residents, additional passive measures (usually in the form of soundproof windows and/or soundproofed ventilation systems) have been identified as eligible for funding, as the active measures alone did not completely lead to noise levels below the trigger values. In the case of 180,000 residents, active measures were not eligible for funding despite the trigger values being exceeded, so that only passive measures were funded. The majority of active sound protection measures were noise barriers, only in exceptional cases alternative forms such as gabions were used. Since the start of the noise abatement programme, around 1,066 km of eligible noise barriers have been identified, of which 561 km were built by the end of 2018, while the remaining noise barriers were still being planned or constructed. Passive measures were implemented in the form of soundproof windows and/or soundproof ventilation systems at around 60,000 residential units. € 1.3 billion of the federal budget provided was drawn down by the noise abatement programme in the period from 1999 to the end of 2018.

The sound engineering studies as well as the overall concept and the funding directive of the noise abatement programme have been continuously improved and updated. For example, the so-called “rail bonus” of 5 dB, which used to be considered in the noise calculations, was eliminated in 2015, and in 2016 the trigger values for noise abatement were also reduced by 3 dB. As a result of these adjustments, more and higher noise barriers proved to be eligible for funding, so that in recent years almost exclusively noise barriers with a height of 3.0 m above the top of the rail head have been planned and built, whereas in the early years of the noise abatement programme, noise barriers with a height of 2.0 m above rail head were planned and built for the most part.

*Question 2: What methods of noise abatement have been used? What are the advantages and disadvantages of each?*

According to the funding directive, both active and passive noise abatement measures are funded. They are weighed according to the benefit-cost aspects of the funding directive. Active measures are to be implemented with priority over passive measures, using passive measures as additional measures or if the benefit-cost ratio for active measures is less than 1.

The advantage of active measures (e. g. noise barriers) over passive measures (e. g. soundproof windows) is the reduction of sound levels in the propagation path, which also reduces the sound level of outdoor residential areas (balconies and gardens). The disadvantage of these noise protection measures is the intrusion into the local and landscape appearance, which can adversely affect the acceptance of the measures. Passive measures, on the other hand, lead to a reduction of the noise level without affecting the residents' view.

In the context of the revision of the funding directive in December 2018, additional factors were introduced in determining the cost-benefit ratio to take into account, among other things, the impact on the townscape in the case of tourist attractions. The results and experiences in connection with these factors can only be assessed in the coming years.

*Question 3: What subjective impressions do affected residents have concerning the benefits and effects of the noise reduction measures? How high is the acceptance of the noise abatement?*

The following picture emerges from a survey of residents living along sections of railway lines with implemented noise barriers, rail dampers and passive noise protection measures:

The remaining average rail noise annoyance was higher in areas where rail dampers had been installed than in areas where noise barriers or passive noise protection measures had been implemented. The lowest remaining rail noise annoyance was shown for the gabion wall followed by passive noise protection measures. This result is also reflected in the satisfaction of the residents. Non-acoustic factors such as the level of information and the involvement of the population seem to be of major importance for the acceptance of the measures in addition to the sound level differences. By means of the present results, it is not possible to generalize these to the entirety of residents living along German Federal railway lines where noise protection measures have been implemented or are planned. Rather, the results provide initial indications of the perception of different noise protection measures on railway lines. In addition, individual specific conditions exist in each of the study areas, which potentially play a role in the expression of noise impact factors.

In order to evaluate the purely acoustic, subjective effects of noise abatement measures, a psychoacoustic laboratory study on the effectiveness of noise abatement measures was carried out. For this purpose, measurements were carried out with and without measures on railway lines with noise barriers or rail dampers. These recordings were evaluated by test subjects under laboratory conditions in a listening test with regard to their noise annoyance.

In areas where a noise barrier was implemented, the auditory effect resulted in a significant reduction of annoyance. In contrast, no improvement in annoyance could be shown in areas where rail dampers were installed. The reduction in annoyance correlates highly with the decrease in loudness, the maximum A-weighted sound pressure level and the average A-weighted pass-by level. By looking at these variables, conclusions can be drawn about the likely reduction in annoyance due to particular noise abatement measures. According to the results of the listening tests, a reduction of the average pass-by level of at least 15 dB is required to halve the perceived annoyance.

*Question 4:* To what extent can the success of noise abatement be confirmed by measurements?

In two study areas (Happing and Westendorf), measurements of sound immission were carried out at calculation points of noise abatement and compared with calculated values. While in the Happing study area the calculation was performed according to Schall 03 2015, the calculation in Westendorf is based on Schall 03 1990.

Both according to Schall 03 2015 and to Schall 03 1990, the measured values during day and night are about 10 dB below the values predicted by the calculation in the sound engineering studies. The difference between calculation and measurement is caused by the higher input parameters in the prognosis compared to the actual conditions. These include in particular the number of trains, the degree of retrofitting of freight trains, train speeds and train lengths, some of which are significantly higher in the prognosis than actually measured on site. The largest contribution to the difference between measurement and calculation in Happing is due to the train numbers of the prognosis for the railway line NBS Munich-Kiefersfelden, and in Westendorf due to the meanwhile advanced retrofitting of freight trains to low-noise composite brakes.

After correcting the calculation values with regard to the input parameters, the measured values remain approximately 3 dB lower than the calculation values, which can at least partly be explained by the good rail condition in both measuring cross-sections.

In both study areas, measurements were made in cross-sections both without and with noise barrier and this difference was compared with the calculated sound level reduction due to the noise barrier. The measuring points were located in the first, and thus the most affected, row of houses. Depending on the microphone height, a sound level reduction due to the noise barrier of 9 dB to 13 dB was measured, which agrees well with the calculated sound level reduction. In both study areas, the deviations between measurement and calculation lie only in the range of 0 dB to 2 dB.

In summary, it can be stated that the measurements confirm the prognosis calculations. Only prognosis calculations can take into account the planned capacity of a railway line. In addition, for the large number of buildings to be considered in an area of noise abatement, it is only possible to determine reproducible assessment levels with reasonable effort by calculating them.

*Question 5:* What are the recommendations for the future continuation of noise abatement?

Due to the planned modal shift from road to the more climate-friendly mode of transport rail (in order to achieve the German Government's energy and climate policy objectives), an increase in passenger and freight transport by rail is expected. The modal shift can only succeed if there is an acceptance of rail transport among the population. A quiet rail transport is an essential prerequisite for this acceptance. In addition to the statutory instruments for noise control – noise prevention according to 16th BImSchV, noise mapping and noise action planning according to 34th BImSchV – the noise abatement programme plays a major role in reducing rail noise along the railway network in Germany.

The Federal Government's new 2030 noise protection target of halving the number of people affected by rail noise is to be achieved primarily through the noise abatement programme. In order to ensure the acceptance of the noise abatement programme, a transparent, comprehensible and effective implementation of the programme is necessary. During the 20-year noise abatement programme, its implementation has been continuously optimized and improved by the BMDV, EBA and the DB Netz AG.

However, in order to meet the 2030 noise protection target, an accelerated implementation of the noise abatement programme is necessary. This can be achieved primarily with an increased budget. If necessary, planning can be accelerated by introducing building information modeling tools (BIM). Networking

of the sectoral planning accelerates the planning processes themselves as well as standardizes and improves the documentation, which helps considerably to save resources, especially in the case of abatement following up.

A lack of acceptance of noise abatement measures can lead to delays in the process due to objections from residents or even lawsuits. It is therefore proposed that citizens should be closely involved in the decision-making process concerning the choice of noise protection measures.

Finally, a review of the cost-benefit ratio (Kosten-Nutzen-Verhältnis, NKV) is also proposed to compensate for the continuously increasing costs of implementing active noise reduction measures.

If progress in noise abatement can be accelerated by improving the framework conditions, this should be accompanied by a gradual increase in the allocated budget.



# 1 Einleitung

Um die Akzeptanz der Bevölkerung für die Verlagerung des Verkehrs auf die Schiene zu gewinnen, muss das Umweltproblem des Schienenverkehrslärms reduziert werden. Zur Reduzierung des Schienenlärms verfolgte das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)<sup>1</sup> die „3-Punkte-Strategie Leise Schiene“, bestehend aus Fördern, Ertüchtigen und Regulieren. Der Schienenverkehrslärm konnte – ausgehend vom Jahr 2008 – innerhalb von nur 12 Jahren halbiert werden.

In puncto Regulieren wurde mit dem 2017 vom Deutschen Bundestag einstimmig beschlossenen Schienenlärmschutzgesetz ein echter Meilenstein gesetzt: Es verankert den Schienenlärmschutz im Bundesrecht, indem es das Fahren lauter Güterwagen auf dem deutschen Schienennetz seit dem Fahrplanwechsel 2020/2021 grundsätzlich verbietet.

Das BMDV verfolgt beim Schutz vor Schienenverkehrslärm eine Doppelstrategie: Zum einen arbeitet es weiter an der Verbesserung des rollenden Materials, zum anderen setzt es die Sanierung betroffener Strecken fort. Zu diesem Zweck besteht seit 1999 das freiwillige Lärmsanierungsprogramm des Bundes an bestehenden Schienenwegen.

Die vorliegende Studie befasst sich mit diesem Programm. Für Lärmschutz an Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes stehen im Rahmen der Lärmsanierung derzeit (zuletzt im Jahr 2021) jährlich 139 Mio. € im Bundeshaushalt bereit. Aus diesem Titel wird seit dem Jahr 1999 insbesondere stationärer aktiver und passiver Schallschutz gemäß der „Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Lärmsanierung an Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes“ ([5], [6], [7]) gefördert. Die im Rahmen der Evaluierungserhebung für diese Studie zum Stand 31.12.2018 letzte gültige Fassung der Richtlinie ist vom 07.05.2014 [6]. Eine überarbeitete Fassung 2018 wurde am 06. Dezember 2018 [5] veröffentlicht; für den im Rahmen dieser Untersuchung dargestellten Sachstand ist diese Fassung noch nicht relevant. Grundlage für die Umsetzung der Maßnahmen stellt das Gesamtkonzept der Lärmsanierung ([2], [3], [4]) dar, in welchem eine Priorisierung der lärmsanierungsbedürftigen Streckenabschnitte regelmäßig fortgeschrieben wird.

Unter aktiven Schallschutzmaßnahmen versteht die Förderrichtlinie den Bau von Schallschutzwänden und -wällen, Maßnahmen zur Brückenentdröhnung und Schienenschmieranlagen. Mit der überarbeiteten Fassung 2018 werden zusätzlich Schienenstegdämpfer und Schienenstegabschirmungen sowie andere bahntechnische und schalltechnische Innovationen aufgenommen, soweit diese nach § 5 der 16. BImSchV [20] anerkannt sind.

Passive Maßnahmen umfassen alle baulichen Maßnahmen am Immissionsort nach § 2 der 24. BImSchV [13], die der Senkung der Schallimmissionen dienen, z. B. Schallschutzfenster. Für die Entscheidung über die Förderfähigkeit von Maßnahmen in einem Sanierungsabschnitt werden schalltechnische Untersuchungen durchgeführt, in denen ermittelt wird, welche Maßnahmen in einem Sanierungsabschnitt umgesetzt werden müssen, um die Auslöswerte der Lärmsanierung zu unterschreiten. Eine aktive Schallschutzmaßnahme ist dann förderfähig, wenn die Voraussetzungen nach Anhang 1 der Förderrichtlinie (Nutzen-Kosten-Bewertung) erfüllt sind. Ist dies für keine aktive Schallschutzmaßnahme der Fall oder werden die Auslöswerte der Lärmsanierung allein durch aktive Maßnahmen nicht erreicht, werden für die Anwesen mit (verbleibenden) Überschreitungen der Auslöswerte der Lärmsanierung passive Maßnahmen mit 75 Prozent der Kosten gefördert.

---

<sup>1</sup> bis Dezember 2021: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

Das zentrale Ziel des Lärmsanierungsprogramms ist der Schutz von Betroffenen vor Schienenverkehrslärm an Bestandsstrecken. Jedoch gibt es immer wieder Vorbehalte und ablehnende Stimmen bei der Durchführung von Schallschutzmaßnahmen. Insbesondere der Eingriff in das Landschaftsbild durch den Bau von Lärmschutzwänden lässt die Akzeptanz sinken. Eine ausschließliche passive Sanierung als Alternative wird im Gegenzug oftmals als nicht ausreichend empfunden.

Die Akzeptanz des Lärmsanierungsprogramms soll daher im vorliegenden Projekt auch anhand psychosozialer Komponenten aufgezeigt und dargelegt werden. Es bedarf der Ermittlung, inwieweit der derzeit verwendete Lärmschutz Akzeptanz erfährt. Soweit möglich, sind Vorschläge zu unterbreiten, wie eine hohe Akzeptanz erreicht oder noch verbessert werden kann. Hierbei sind Nutzen, Wirkung und Kostenaspekte darzulegen.

## 1.1 Ziele des Forschungsvorhabens

Ziel dieses Vorhabens ist es, die Wirksamkeit des Lärmsanierungsprogramms zu evaluieren. Hierzu wird die Frage beantwortet, welches Maß an Lärminderung der aus Bundesmitteln finanzierte stationäre Lärmschutz bewirkt hat. Diese Evaluierung soll auch eine psychosoziale Komponente enthalten. Abschließend werden Empfehlungen für die zukünftige Fortführung der Lärmsanierung unter Darlegung und Abwägung der notwendigen Parameter dargestellt.

Das Projektziel der Evaluierung der Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes umfasst insbesondere die Beantwortung folgender Fragen:

1. Welche Lärminderung wurde durch das Lärmsanierungsprogramm im Zeitraum von 1999 bis 2018 erreicht und wie stellt sich der bisherige Fortschritt der Lärmsanierung dar?
2. Welche Methoden der Lärmsanierung wurden genutzt? Welche Vor- und Nachteile gibt es jeweils?
3. Welchen subjektiven Eindruck von Nutzen und Wirkung der Lärmsanierung haben betroffene Anwohnenden? Wie hoch ist die Akzeptanz der Lärmsanierung? Wieweit kann der Erfolg der Lärmsanierung durch Messungen bestätigt werden?
4. Welche Empfehlungen gibt es für die zukünftige Fortführung der Lärmsanierung?

## 1.2 Vorgehensweise

Der Leistungsumfang gliedert sich in sechs Arbeitspakete (APs).

- AP 1: Darstellung der erreichten Lärminderung durch das Lärmsanierungsprogramm.
- AP 2: Darstellung des weiteren Fortschritts der Lärminderung durch die Lärmsanierung inklusive der Abschätzung des noch benötigten Umsetzungszeitraums und finanziellen Volumens.
- AP 3: Beschreibung der genutzten Maßnahmen mit ihrer Wirkweise und den Vor- und Nachteilen.
- AP 4: Psychosoziale Ermittlung des subjektiven Eindrucks von Nutzen und Wirkung der Lärmsanierung bei betroffenen Anwohnenden sowie deren Akzeptanz.
- AP 5: Messtechnische Überprüfung des prognostizierten Erfolgs der Lärmsanierung.
- AP 6: Empfehlungen für die zukünftige Fortführung der Lärmsanierung unter Darlegung und Abwägung der hierfür notwendigen Parameter.

Für eine anschaulichere Darstellung und aufgrund von Überschneidungen und Synergieeffekten in der Bearbeitung werden die Arbeitspakete 1 und 2 in diesem Bericht zusammengefasst.

## 1.2.1 AP 1 und 2: Darstellung der erreichten Lärminderung durch das Lärmsanierungsprogramm und des Fortschritts der Lärminderung.

Zur Darstellung der erreichten Lärminderung durch das Lärmsanierungsprogramm seit dem Start 1999 sollen in einer jährlichen Darstellung insbesondere folgende Punkte dargestellt werden:

- Anzahl und Umfang sowie Verortung der jährlich umgesetzten Maßnahmen, getrennt nach Länge der verbauten Schallschutzwände, sonstigen Maßnahmen am Gleis und Anzahl der passiv sanierten Wohneinheiten
- Anzahl und Länge der sanierten Lärmsanierungsbereiche
- Anzahl und Länge der sanierten Streckenabschnitte
- Anzahl der von aktivem, passivem oder gemischtem Lärmschutz jeweils erfassten Anwohnenden.
- Verhältnis Lärmsanierung aktiv/passiv bei den verwendeten Bundesmitteln
- Durchschnittliche Pegelminderung pro Anwohner

Dabei ist die Unterscheidung von Lärmsanierungsbereichen und Streckenabschnitten gemäß der Förderrichtlinie der Lärmsanierung zu berücksichtigen. Für die operative Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms auf Grundlage der Förderrichtlinie ist die DB Netz AG verantwortlich. Hierfür hat die DB Netz AG Kenndaten zum Lärmsanierungsprogramm, die als Grundlage für die Darstellung der bereits umgesetzten Maßnahmen dienen, bereitgestellt.

Zur Darstellung des Fortschritts der Lärmsanierung soll ermittelt werden, wie viele Lärmsanierungsbereiche und wie viele Streckenkilometer im Mittel jährlich saniert werden und welcher Fortschritt in den kommenden Jahren zu erwarten ist. Die Darstellung des Fortschritts erfolgt dabei auf Grundlage der jährlich lärmsanierten Streckenkilometer und der pro Jahr entlasteten Anwohner an den Streckenabschnitten. Zudem ist eine Abschätzung des noch benötigten Umsetzungszeitraums und finanziellen Volumens vorzunehmen. Hierbei ist der derzeitige Stand des Gesamtkonzepts zu berücksichtigen.

Die Darstellung des Erfolgs der Lärmsanierung konzentriert sich auf die insgesamt erreichte Lärmentlastung der Anwohner. Bis zur Fassung der Förderrichtlinie zur Lärmsanierung vom Dezember 2018 [5] war das Ziel, von den Schienenwegen ausgehende Lärmemissionen an baulichen Anlagen zu mindern. Zu diesen baulichen Anlagen zählen diejenigen, die vor dem Inkrafttreten des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (1. April 1974, in den neuen Ländern der 3. Oktober 1990) errichtet wurden. Weiterhin werden bauliche Anlagen dazugezählt, wenn der Bebauungsplan in dessen Geltungsbereich die bauliche Anlage errichtet wurde, vor Inkrafttreten des Bundes-Immissionsschutzgesetzes rechtsverbindlich wurde. Gebäude, welche nach diesem Stichtag errichtet wurden und sich innerhalb des Einflussbereiches der Schallschutzwand befinden, profitieren tatsächlich dennoch von den getroffenen Maßnahmen, auch wenn sie bei den Untersuchungen zu den Maßnahmen als nicht förderfähig unberücksichtigt blieben. Daher werden ergänzend auch die Anzahl dieser Gebäude und damit deren Bewohnern innerhalb der bisherigen Lärmsanierung abgeschätzt, welche unabhängig von der Förderfähigkeit von den umgesetzten Maßnahmen der Lärmsanierung profitieren.

Weiterhin wurde die Zahl der Gebäude in der bisherigen Lärmsanierung abgeschätzt, welche nicht förderfähig waren, weil ihre Beurteilungspegel unter den Auslösewerten lagen, jedoch von einer Pegelminderung durch die Maßnahmen (Schallschutzwand) profitieren, die für nähergelegene Gebäude errichtet wurde.

### 1.2.2 AP 3: Beschreibung der genutzten Maßnahmen mit ihrer Wirkweise und den Vor- und Nachteilen

Die im Lärmsanierungsprogramm genutzten Techniken sollen mit ihrer Wirkweise und den Vor- und Nachteilen dargestellt werden. Die Mechanismen der schallmindernden Wirkung der jeweiligen Technik sollen erläutert werden. Weiter soll beschrieben werden, wie die Nachweisverfahren ausgestaltet sind, die die Schutzwirkung der jeweiligen Technologien und Produkte garantieren (z. B. Zulassungsverfahren der DB Netz AG, Notwendigkeit einer EBA-Zulassung).

Geeignete Einsatzgebiete für Schallschutztechniken sollen dargelegt, wirtschaftliche Aspekte aufgezeigt und abgewogen werden. Auf Vor- und Nachteile sowie die Grenzen der Techniken soll eingegangen werden.

### 1.2.3 AP 4: Psychosoziale Ermittlung des subjektiven Eindrucks von Nutzen und Wirkung der Lärmsanierung bei betroffenen Anwohnenden sowie Akzeptanz

Der Erfolg der Lärmsanierungsmaßnahmen ist neben den quantitativ ermittelten Größen auch davon abhängig, welche Akzeptanz die umgesetzten Maßnahmen bei der betroffenen Bevölkerung genießen. Daher soll die Wahrnehmung der Lärmsanierungsmaßnahmen durch Betroffene dargestellt und die Akzeptanz von geplanten und umgesetzten Lärmsanierungsmaßnahmen ermittelt werden. Zu unterscheiden sind aktive und passive Lärmsanierungsmaßnahmen. Hierzu soll eine Befragung der begünstigten Anwohnenden durchgeführt werden. Es sind geeignete Kriterien für die Auswirkungen der Lärmreduzierungsmaßnahmen zu wählen, dies sind insbesondere Befragungen zum Grad der Belästigung, zur Schlafqualität, zur persönlichen Erwartungshaltung, zur subjektiven Minderungswirkung und zur Wahrnehmung von Nebenwirkungen (Schattenwurf, Sichtachsen etc.). Es sollen sowohl Bereiche, in denen kurzfristig eine Lärmsanierungsmaßnahme geplant ist, als auch Bereiche mit bereits abgeschlossenen Maßnahmen zur Untersuchung der Langzeitwirkung untersucht werden, sodass eine Vorher-Nachher-Analyse stattfinden kann.

Es ist auszuarbeiten, in welchen Fällen eine geringe Akzeptanz für Lärmsanierung vorliegt. Es sind Empfehlungen zu erarbeiten, wie die Akzeptanz für Lärmsanierung gesteigert werden kann.

### 1.2.4 AP 5: Messtechnische Überprüfung der Pegelminderung durch Maßnahmen der Lärmsanierung

Die Methodik zur Überprüfung der Förderfähigkeit von Schallschutzmaßnahmen ist im Rahmen der Förderrichtlinie derart geregelt, dass die Belastung der Betroffenen rechnerisch auf Basis der Anlage 2 zur 16. BImSchV (Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege - Schall 03) ermittelt wird. Wesentliche Parameter bei der Förderfähigkeitsbewertung auf Basis des Nutzen-Kosten-Verhältnisses sind die Zahl der Anwohnenden, die von Überschreitungen der Auslösewerte der Lärmsanierung betroffen sind, und die mittlere Pegelminderung durch die jeweilige Schallschutzmaßnahme.

Anhand von zwei exemplarischen Untersuchungsgebieten, davon eines, das auf Basis von Berechnungen nach Schall 03 1990 und eines, das auf Basis von Berechnungen nach Schall 03 2015 saniert wurde, soll eine messtechnische Überprüfung erfolgen, inwieweit die Höhe der ermittelten Lärmbetroffenheit und auch die erzielte Pegelminderung der Berechnung mit den messbaren Werten übereinstimmen.

## 1.2.5 AP 6: Empfehlungen für die zukünftige Fortführung der Lärmsanierung

In einem abschließenden Arbeitspaket sind die Ergebnisse aus den unterschiedlichen Arbeitspaketen aufzugreifen und hinsichtlich Optimierungspotential für die Fortführung der Lärmsanierung zu bewerten. Ansätze für eine Optimierung der Lärmsanierung sollen als Empfehlungen für die Berücksichtigung in der Förderrichtlinie zur Lärmsanierung formuliert werden.

## 2 Darstellung der durch das Lärmsanierungsprogramm erreichten Lärminderung sowie Abschätzung des noch benötigten Umsetzungszeitraums und finanziellen Volumens

Die Darstellung der erreichten Lärminderung durch das Lärmsanierungsprogramm umfasst den Zeitraum von Beginn des Programms 1999 bis zum 31.12.2018.

### 2.1 Datengrundlage

Grundlage für die Auswertungen sind die schalltechnischen Untersuchungen, die im Rahmen der Lärmsanierung durchgeführt wurden [1]. Diese wurden für diesen Forschungsbericht gesichtet und ausgewertet. Zusätzlich wurde von der DB Netz AG eine korrespondierende Gesamtprojektliste mit zusätzlichen Informationen zu den umgesetzten Maßnahmen zur Verfügung gestellt [11]. Die hieraus zu entnehmenden Kennwerte umfassen insbesondere folgende Punkte:

- Anzahl und Länge der sanierten Lärmsanierungsbereiche
- Anzahl und Umfang der jährlich umgesetzten Maßnahmen, getrennt nach Länge der verbauten Schallschutzwände oder sonstigen Maßnahmen am Gleis
- Anzahl der durch passive Maßnahmen sanierten Wohneinheiten
- Anzahl und Länge der sanierten Streckenabschnitte (Netto-km)
- Anzahl der von aktivem, passivem oder gemischtem Lärmschutz jeweils erfassten Anwohnenden.
- Verhältnis Lärmsanierung aktiv/passiv bei den verwendeten Bundesmitteln
- Durchschnittliche Pegelminderung pro Abschnitt
- Durchschnittliche Kosten pro Anwohnenden

Angaben zu den abgerufenen Bundeshaushaltsmitteln des Lärmsanierungsprogramms wurden in Form einer Kostenaufstellung [12] von der DB Netz AG zur Verfügung gestellt. Die abgerufenen Mittel sind die jeweiligen Baukosten der Schallschutzmaßnahme zuzüglich der Planungskostenpauschale. Die Auflistung stellt jahresweise die Baukosten für die aktiven sowie passiven Schallschutzmaßnahmen dar und dazu die jeweiligen Planungskostenpauschalen.

Die ausgewerteten Daten werden in Zusammenhang mit der zum Untersuchungszeitpunkt jeweils gültigen Förderrichtlinie ([5], [6], [7], [8]) dargestellt.

## 2.2 Vorgehensweise bei der Auswertung der schalltechnischen Untersuchungen

Seit Beginn des Lärmsanierungsprogramms wurden 1.030 schalltechnische Untersuchungen [1] erstellt. Diese Untersuchungen wurden von der DB Netz AG digitalisiert und für das vorliegende Vorhaben zur Verfügung gestellt. Ältere Untersuchungen lagen hierbei als gescannte Unterlagen vor, was eine Auswertung erschwerte, während aktuellere Untersuchungen in einem digitalen Format vorlagen. Detaillierungsgrad und Einheitlichkeit der Untersuchungen haben sich über die Jahre stetig erhöht. Untersuchungen aus den Anfangsjahren des Lärmsanierungsprogramms wiesen teilweise nicht alle Informationen (beispielsweise die mittlere Pegelminderung) auf, die dem jetzigen Detaillierungsgrad entsprechen. Dies führte zu Datenlücken, welche durch entsprechende Mittelwerte aus den neueren Untersuchungen gefüllt wurden. Wenn beispielsweise bei einer Schallschutzwand keine Angabe zu lärmmentlasteten Gebäuden oder Wohneinheiten angegeben wurde (bei ca. 40 % der geplanten Schallschutzwände, hauptsächlich in den Jahren 1999 bis 2005), wurde der fehlende Wert mit der Annahme von 155 WE/km Schallschutzwand (Mittelwert aus den Untersuchungen aus [1], bei denen diese Zahlen vorlagen) abgeschätzt.

In den Fällen, in denen anstelle der Anzahl förderfähiger Wohneinheiten bzw. betroffener Anwohnenden nur die Zahl der Gebäude vorhanden war, wurde die Zahl der Anwohnenden aus der Zahl der Gebäude mittels Umrechnungsfaktoren gemäß der Ausführungsbestimmung [9] ermittelt (Anzahl Wohneinheiten = Anzahl Gebäude x 2, Anwohneranzahl = Anzahl Wohneinheiten x 2,1).

## 2.3 Darstellung der erreichten Ziele durch das Lärmsanierungsprogramm

Das Ziel der Lärmsanierung ist die Minderung der Lärmbelastung der Anwohnenden an bestehenden Schienenwegen des Bundes. Die bisher erreichten Ziele lassen sich in unterschiedlichen Maßeinheiten darstellen. Daher werden im Folgenden die erreichten Ziele in Form der sanierten Abschnitte, der entlasteten Anwohnenden, der umgesetzten Maßnahmen, der mittleren Pegelminderung und der aufgewendeten Finanzmittel dargestellt. Grundlage für die Darstellung der erreichten Ziele sind (wenn nicht explizit anders erwähnt) die abgeschlossenen schalltechnischen Untersuchungen. Nach Abschluss einer schalltechnischen Untersuchung vergehen noch im Mittel ca. 4 Jahre bis zur Fertigstellung der aktiven Schallschutzmaßnahmen. In diesem Zeitraum wird die Ausführungs- und Genehmigungsplanung durchgeführt und es erfolgt die bauliche Umsetzung (wofür meist Sperrpausen erforderlich werden).

### 2.3.1 Darstellung der sanierten Abschnitte

Die derzeit insgesamt 2.855 Lärmsanierungsbereiche aus dem Gesamtkonzept Lärmsanierung werden im Bereich der DB Netz AG anhand von sinnvollen örtlichen Unterteilungen in Sanierungsabschnitte gegliedert und bei Bearbeitung mit Kurzprojektnummern versehen (sog. KPN-Nummer). Seit 1999 wurden insgesamt 781 Kurzprojektnummern vergeben. Im Evaluierungszeitraum wurden 1.030 schalltechnische Untersuchungen durchgeführt. Teilweise wurden dabei die Sanierungsabschnitte in den schalltechnischen Untersuchungen noch weiter unterteilt.

Die Anzahl der fertiggestellten Untersuchungen pro Jahr ist in Abbildung 1 dargestellt. In den Anfangsjahren der Lärmsanierung wurden wenige Untersuchungen fertiggestellt, da in den ersten beiden Jahren

zunächst die eigentlichen Bearbeitungen liefern und die Projekte meist nicht innerhalb eines Jahres abgeschlossen werden konnten. Ab dem Jahr 2002 bis 2005 liegt die Zahl der Untersuchungen pro Jahr (teilweise deutlich) über 50, während sie sich danach bis 2015 bei etwa 20 bis 30 Untersuchungen jährlich einpendelt. Seit dem Jahr 2016 wird eine erhöhte Anzahl an Untersuchungen durchgeführt, um laut Aussage der DB Netz AG einen Vorrat an umzusetzenden Maßnahmen sicherzustellen.

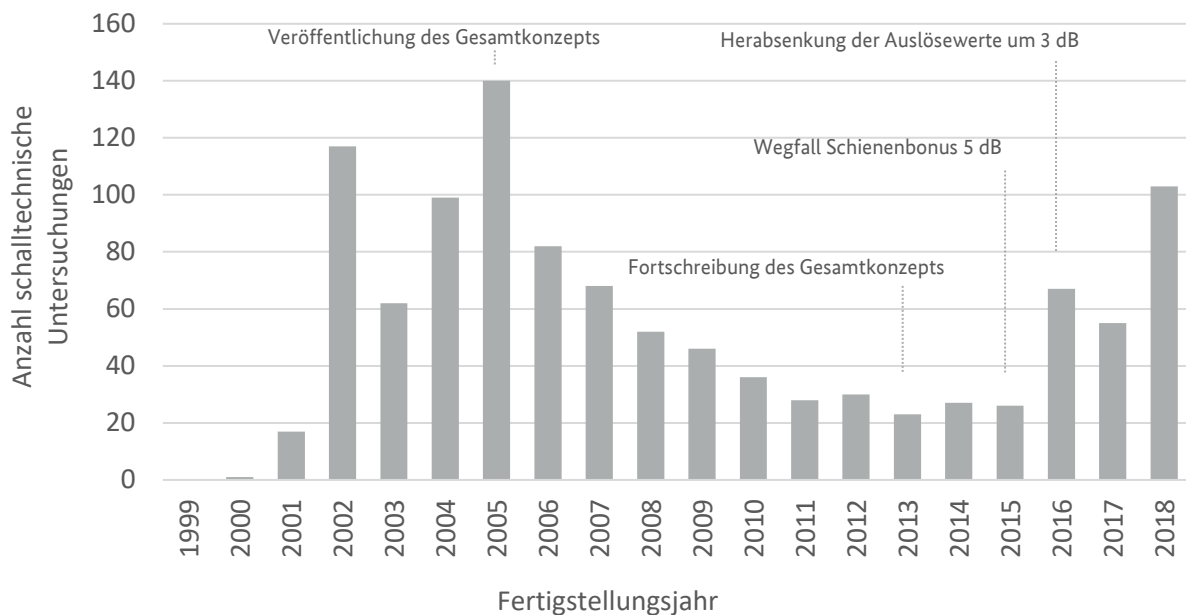


Abbildung 1: Jährlich fertiggestellte schalltechnische Untersuchungen

### 2.3.2 Darstellung der geplanten und umgesetzten Maßnahmen

Im Rahmen der Lärmsanierung werden vorzugsweise aktive Schallschutzmaßnahmen und in den allermeisten Fällen Schallschutzwände errichtet, soweit die Nutzen-Kosten-Bewertung eine Förderfähigkeit ergibt. Die Förderfähigkeit wird dabei für Wände mit einer Höhe von 2,0 m, 2,5 m und 3,0 m geprüft [5]. Wände mit geringeren oder größeren Höhen werden nur in Ausnahmefällen gefördert. Aus den schalltechnischen Untersuchungen zur Lärmsanierung wurden jährlich die Längen der geplanten Schallschutzwände getrennt nach deren Höhe ermittelt und in Abbildung 2 dargestellt.



Darstellung der durch das Lärmsanierungsprogramm erreichten Lärminderung sowie Abschätzung des noch benötigten Umsetzungszeitraums und finanziellen Volumens

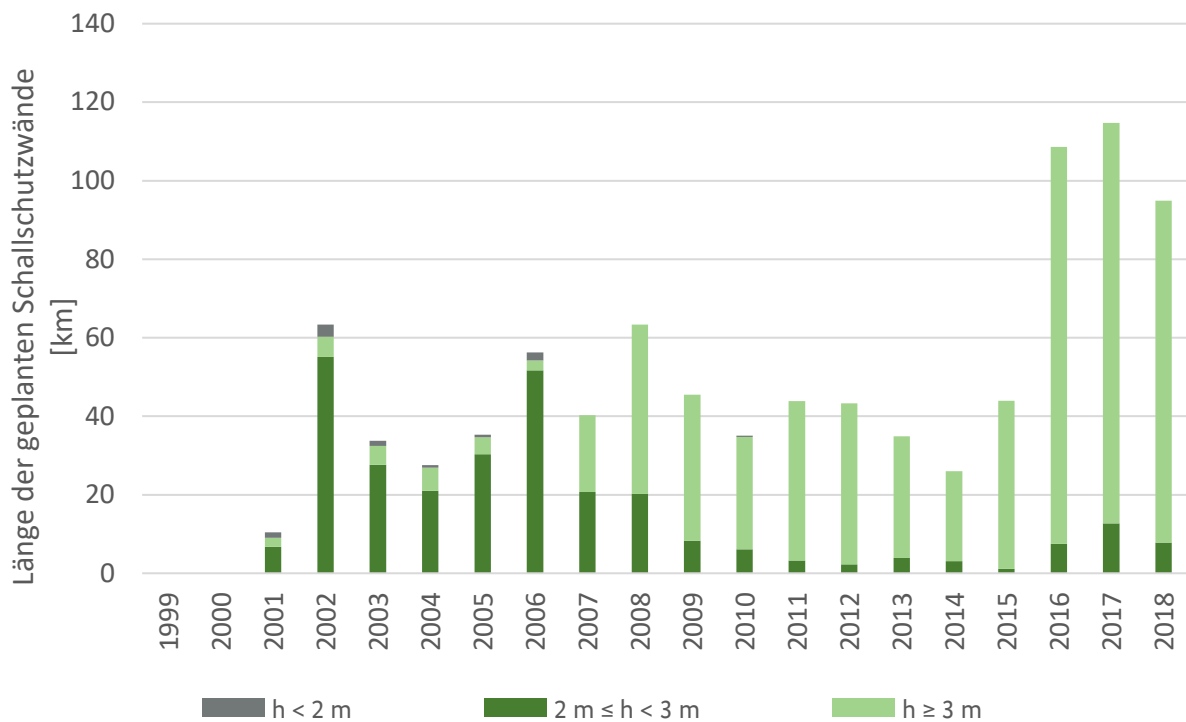


Abbildung 2: Länge und Höhe der geplanten Schallschutzwände aus den schalltechnischen Untersuchungen

Aus dieser Darstellung ist zu entnehmen, dass anfangs überwiegend Schallschutzwände mit 2,0 m bzw. 2,5 m Höhe über Schienenoberkante gefördert wurden und seit 2008 vorzugsweise Schallschutzwände mit einer Höhe von 3,0 m über Schienenoberkante. Wie in Abschnitt 2.3.1 beschrieben, ist der Anstieg ab dem Jahr 2016 auf die erhöhte Anzahl der fertiggestellten schalltechnischen Untersuchungen zurückzuführen.

Summiert man die jährlich geplanten Schallschutzwandlängen auf, ergibt sich die Gesamtlänge der bisher geplanten Schallschutzwände im Rahmen der Lärmsanierung. Die Längen der *geplanten* Schallschutzwände sind in Abbildung 3 dargestellt. Die bauliche Umsetzung der Maßnahmen erfolgt mit einer Zeitverzögerung nach der Plangenehmigung. Die Längen der *baulich umgesetzten* Schallschutzwände wurden auf Basis der Daten der DB Netz AG [11] ermittelt. Diese sind zum Vergleich ebenfalls in Abbildung 3 ersichtlich. Insgesamt wurden zwischen 1999 und 2018 1.066 km Schallschutzwände geplant [1] und davon 561 km baulich umgesetzt [11].

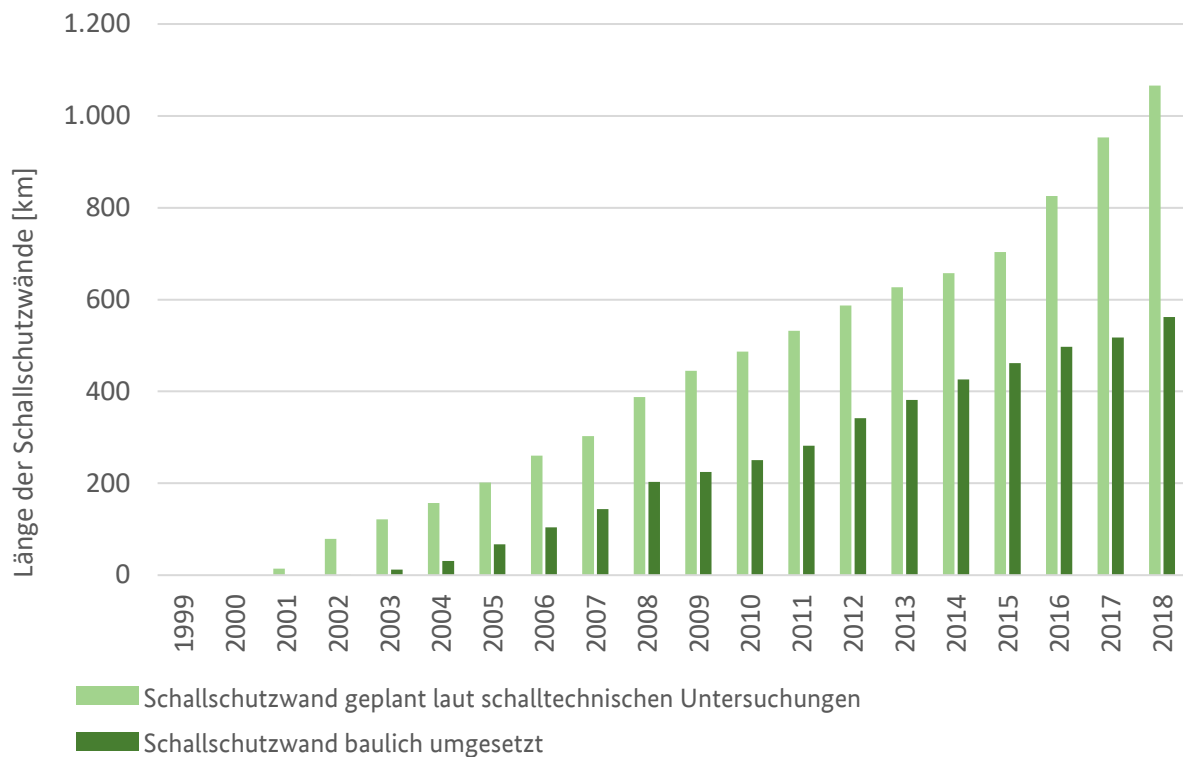


Abbildung 3: Kumulierte Gesamtlängen der geplanten und baulich umgesetzten Schallschutzwände

In den Lärmsanierungsabschnitten, in denen aktive Schallschutzmaßnahmen aufgrund der Nutzen-Kosten-Bewertung als nicht förderfähig bewertet werden und an Gebäuden, an denen trotz aktiver Maßnahmen die Auslösewerte der Lärmsanierung nicht unterschritten werden, sind passive Maßnahmen an Wohngebäuden nach Maßgabe der 24. BImSchV [13] förderfähig. Die Anwohnenden, bei denen passive Maßnahmen grundsätzlich förderfähig sind, erhalten jedoch aus unterschiedlichen Gründen nicht alle geförderte passive Maßnahmen. Gründe hierfür sind:

- an der Fassade mit Überschreitung der Auslösewerte tagsüber oder nachts ist kein schutzbedürftiger Raum vorhanden (dies kann erst bei der Begutachtung vor Ort festgestellt werden),
- an der Fassade mit Überschreitung der Auslösewerte nachts ist kein schutzbedürftiger Raum, der zum Schlafen dient, vorhanden (dies kann erst bei der Begutachtung vor Ort festgestellt werden),
- die vorhandenen Außenbauteile erfüllen bereits die Anforderungen der 24. BImSchV und es ist ggfs. bereits eine schallgedämmte Lüftungseinrichtung vorhanden (dies kann erst bei der Begutachtung vor Ort festgestellt werden) oder
- die anspruchsberechtigten Eigentümer und Eigentümerinnen verzichten auf die geförderten Maßnahmen.

Die Anzahl der förderfähigen Wohneinheiten wurde auf Grundlage der schalltechnischen Untersuchungen [1] ausgewertet. Für die tatsächlich umgesetzten passiven Maßnahmen liegen Daten der DB Netz AG [11] vor, in denen die Zahl der tatsächlich geförderten Wohneinheiten dokumentiert ist. Der Anteil der Wohneinheiten, bei denen der förderfähige passive Schallschutz umgesetzt wurde, beträgt 35 Prozent (siehe Abbildung 4).

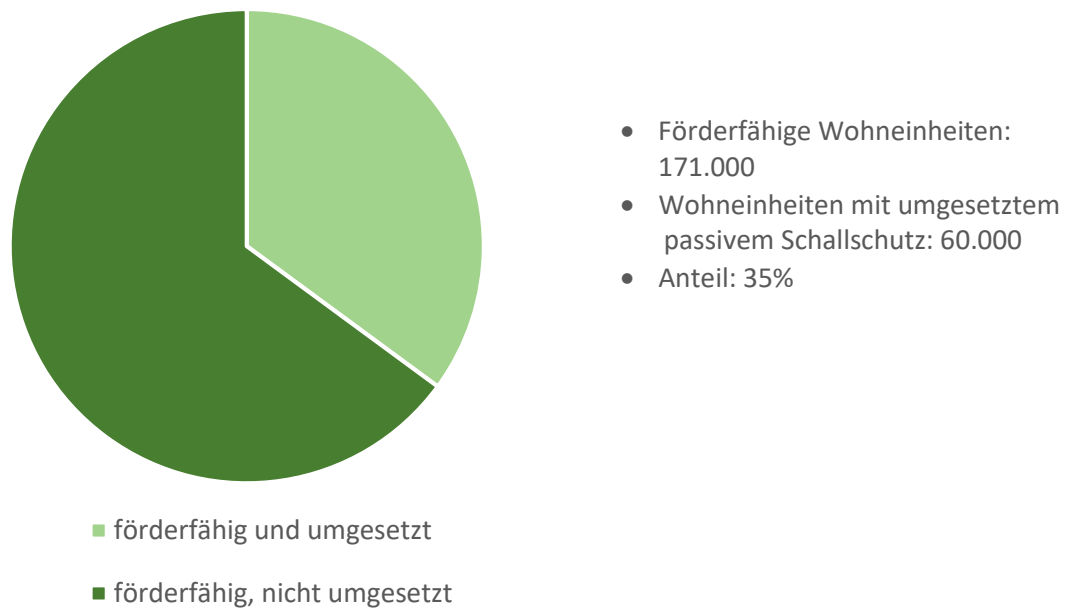


Abbildung 4: Verhältnis von für passiven Schallschutz förderfähigen Wohneinheiten zu tatsächlich mit passivem Schallschutz ausgestatteten Wohneinheiten

### 2.3.3 Darstellung der lärmmentlasteten Anwohnenden

In den schalltechnischen Untersuchungen wird für die Ausgangssituation ohne Schallschutz die Anzahl der Anwohnenden mit Überschreitung der Auslöswerte der Lärmsanierung angegeben. Im Rahmen der Nutzen-Kosten-Bewertung erfolgt für den Fall der förderfähigen aktiven Schallschutzmaßnahme (in der Regel Schallschutzwand) eine Angabe der verbleibenden Anwohnenden mit Überschreitung der Auslöswerte. Die Differenz dieser Zahlen sind die Anwohnenden, bei denen die Auslöswerte ausschließlich durch aktive Maßnahmen unterschritten werden.

Für Gebäude, deren Beurteilungspegel trotz aktiver Schallschutzmaßnahmen oberhalb der Auslöswerte der Lärmsanierung liegen, werden zusätzlich passive Schallschutzmaßnahmen gefördert. Sind aktive Schallschutzmaßnahmen nach der Nutzen-Kosten-Bewertung gar nicht förderfähig, werden bei den Anwohnenden ausschließlich passive Maßnahmen gefördert. Die Zahl der Anwohnenden, bei denen im Rahmen der schalltechnischen Untersuchungen Schallschutzmaßnahmen als förderfähig festgestellt wurden, ist im Verlauf der Jahre in Abbildung 5 dargestellt.

Darstellung der durch das Lärmsanierungsprogramm erreichten Lärminderung sowie Abschätzung des noch benötigten Umsetzungszeitraums und finanziellen Volumens

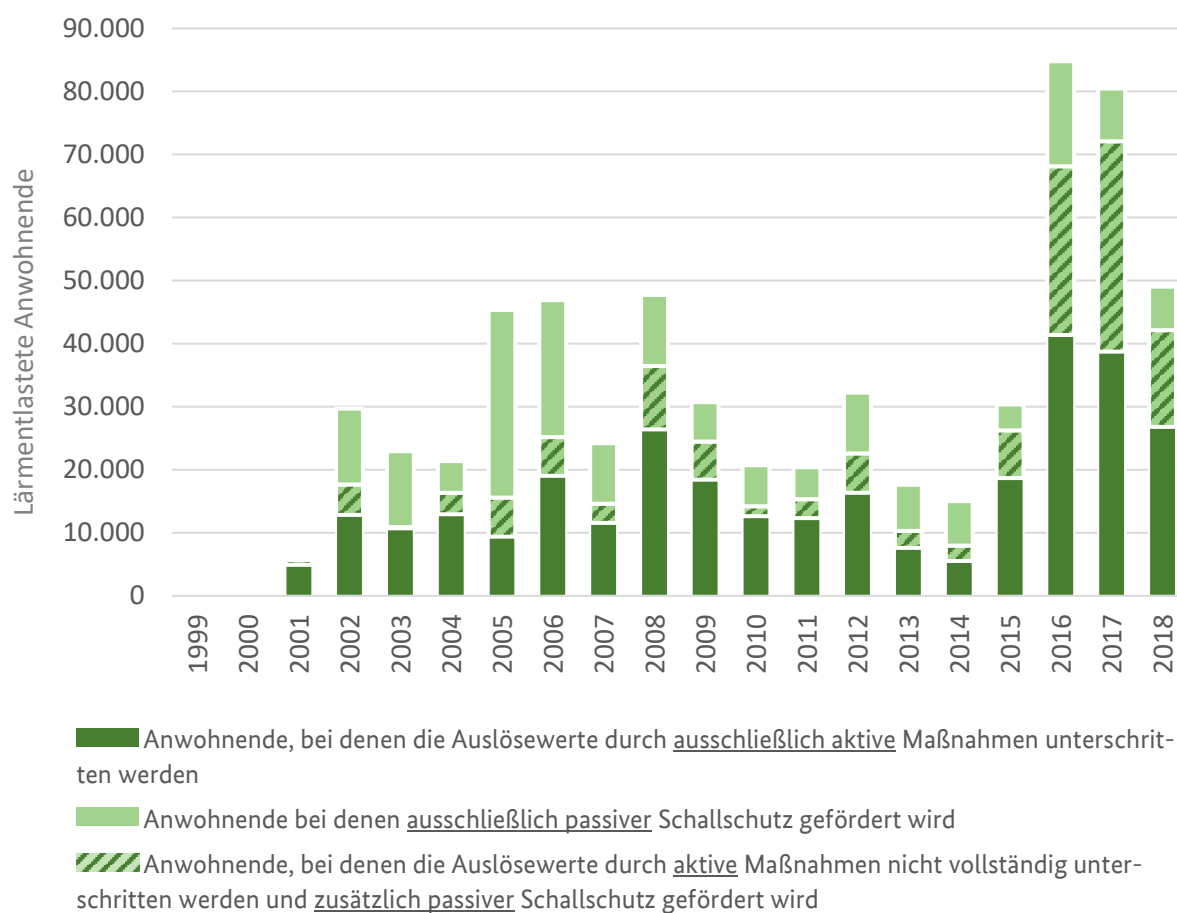


Abbildung 5: Anzahl der Anwohnenden pro Jahr, bei denen eine Förderfähigkeit von Schallschutzmaßnahmen festgestellt wurde, auf Basis der schalltechnischen Untersuchungen

Insgesamt ergaben die Untersuchungen bei rund 626.000 Anwohnenden förderfähige Maßnahmen (vgl. Abbildung 6), nach der jeweiligen zum Zeitpunkt der Untersuchung gültigen Fassung der Förderrichtlinie.

Dabei ist zu beachten, dass in den verschiedenen Jahren unterschiedliche Randbedingungen bzgl. der Auslösewerte galten (vgl. Tabelle 1). So galten bis 2015 die Rechenverfahren der Schall 03 1990, die einen Abschlag auf den Beurteilungspegel von 5 dB aufgrund der angenommenen geringeren Lästigkeit des Schienenverkehrs gegenüber Straßenverkehrslärm (sog. Schienenbonus) berücksichtigten. Ab 2016 entfiel dieser Abschlag mit Einführung der neuen Schall 03 und 2017 wurden die Auslösewerte um 3 dB reduziert. Eine Übersicht der verschiedenen Auslösewerte zu den verschiedenen Zeitpunkten kann folgender Tabelle 1 entnommen werden. Weitere Absenkungen der Auslösewerte sind in Zukunft zu erwarten.

Darstellung der durch das Lärmsanierungsprogramm erreichten Lärminderung sowie Abschätzung des noch benötigten Umsetzungszeitraums und finanziellen Volumens

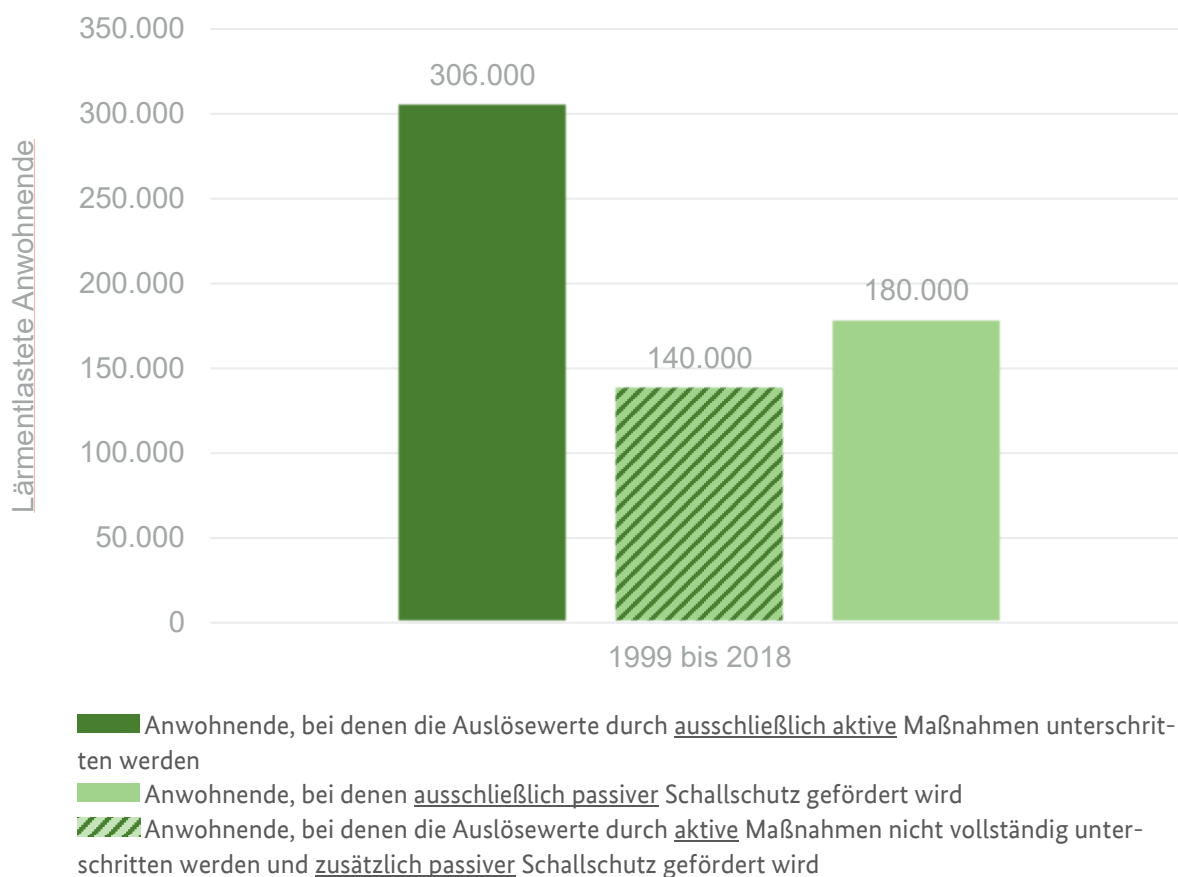


Abbildung 6: Anzahl der Anwohnenden, bei denen eine Förderfähigkeit von Schallschutzmaßnahmen festgestellt wurde, auf Basis der schalltechnischen Untersuchungen aufsummiert seit 1999 bis Ende 2018

TABELLE 1: AUSLÖSEWERTE DER LÄRMSANIERUNG ZU DEN VERSCHIEDENEN ZEITPUNKTEN DER SCHALLTECHNISCHEN UNTERSUCHUNGEN

Gebietsart	Auslösewerte Tag in dB(A) (06:00 bis 22:00 Uhr)			Auslösewerte Nacht in dB(A) (22:00 bis 06:00 Uhr)		
	bis 2015	2016	seit 2017	bis 2015	2016	seit 2017
Allgemeine und reine Wohngebiete, Kleinsiedlungsgebiete, Krankenhäuser, Schulen, Kindertagesstätten, Altenheime	70 (+5) *	70	67	60 (+5) *	60	57
Kerngebiete, Dorfgebiete, Mischgebiete	72 (+5) *	72	69	62 (+5) *	62	59
Gewerbegebiete	75 (+5) *	75	72	65 (+5) *	65	62

\* ohne Berücksichtigung des Schienenbonus beträgt der Beurteilungspegel 5 dB höhere Werte

Nach den Förderrichtlinien, die bis Ende 2018 angewendet wurden, war die Förderfähigkeit auf Gebäude beschränkt, die vor dem Inkrafttreten des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (1. April 1974, in den neuen Ländern der 3. Oktober 1990) errichtet wurden bzw. auf Gebäude in einem Bebauungsplan, der vor Inkrafttreten des Bundes-Immissionsschutzgesetzes rechtsverbindlich wurde. Gebäude neueren Datums, die nicht unter diese Regelung fallen, wurden bei den schalltechnischen Untersuchungen als nicht förderfähig bewertet (sog. „74er-Regel“). Sie tauchen dementsprechend nicht in den Nutzen-Kosten-Bewertungen auf. Gebäude, die sich im Einflussbereich einer Schallschutzwand befinden, jedoch unter die 74er-Regel fallen, profitieren dennoch in Form von Pegelminderung durch die aktive Schallschutzmaßnahme. Im Folgenden wird eine Abschätzung getroffen, wie viele dieser Gebäude und in deren Folge Anwohnende unter die „74er-Regel“ gefallen sind und dennoch durch aktive Schallschutzmaßnahmen von einer Pegelminderung profitieren.

Weiterhin profitieren auch Gebäude von den Schallschutzmaßnahmen, die im Bestandsfall ohne Schallschutzmaßnahmen unterhalb der Auslöswerte der Lärmsanierung liegen (z. B. Gebäude in der zweiten, dritten Häuserreihe), mit den realisierten Schallschutzmaßnahmen aber ebenfalls eine deutliche Pegelminderung erfahren. Die Anwohnenden in den entfernteren Gebäuden profitieren daher zusätzlich von den Lärmsanierungsmaßnahmen. Für diese zusätzlichen Anwohnenden, die von aktiven Maßnahmen profitieren, wurde eine Abschätzung über deren Anzahl getroffen. Dabei wird als Kriterium zugrunde gelegt, dass die Pegelminderung durch die Schallschutzwand mindestens 3 dB betragen muss.

Die in den schalltechnischen Untersuchungen nicht erfassten, zusätzlich von den Lärmsanierungsmaßnahmen profitierenden Anwohnenden sind exemplarisch in einem Gebiet in Abbildung 7 ersichtlich. Dargestellt ist eine Rasterlärmkarte mit den Isolinien für die Auslöswerte der Lärmsanierung (dunkelblau: Isolinie für Auslöswert tags; hellblau: Isolinie für Auslöswert nachts). Die mit „74er-Regel“ markierten Gebäude waren in der Untersuchung aufgrund der Stichtagsregelung nicht förderfähig. Rote gekennzeichnete Immissionsorte weisen Überschreitungen der Auslöswerte, grün gekennzeichnete Immissionsorte keine Überschreitungen auf. Exemplarisch ist zudem ein Gebäude ohne Überschreitungen der Auslöswerte gekennzeichnet, das jedoch von der aktiven Schallschutzmaßnahme mit einer Pegelminderung von mindestens 3 dB profitiert.

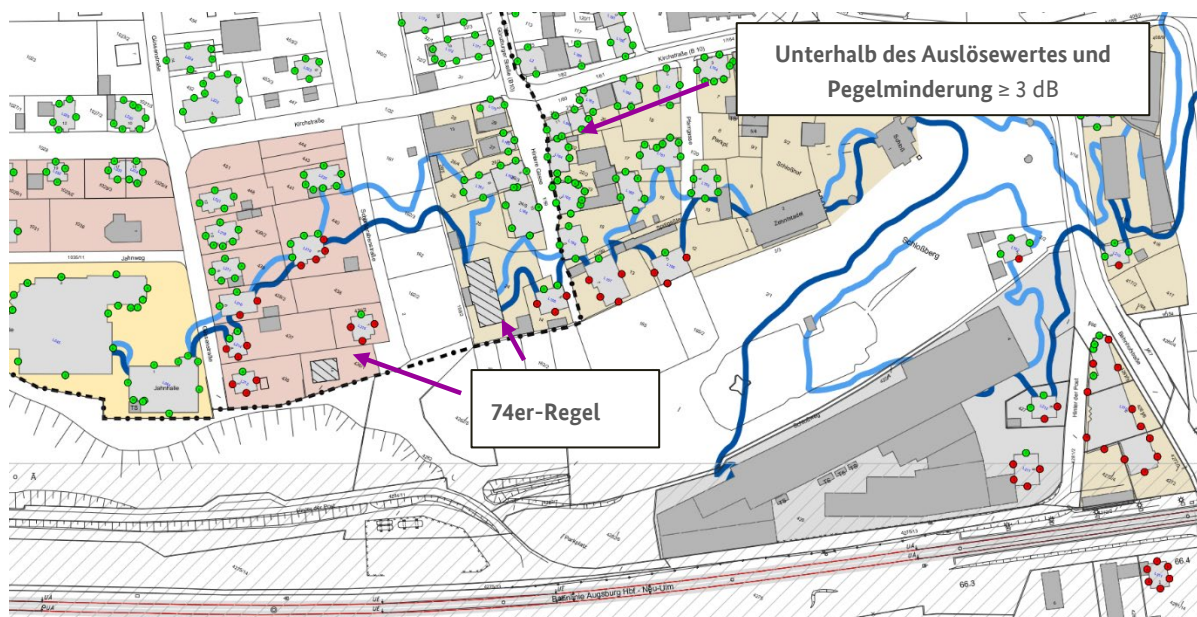


Abbildung 7: Exemplarische Darstellung der zusätzlich von Maßnahmen der Lärmsanierung profitierenden Gebäude

Um eine Abschätzung über die bisher im Rahmen der Lärmsanierung profitierenden Anwohnenden zu treffen, wurden repräsentative Untersuchungsgebiete aus dem bisher umgesetzten Lärmsanierungsprogramm ausgewählt und in diesen Gebieten der Anteil der zusätzlich profitierenden Anwohnenden im Verhältnis zur Zahl der nach Richtlinie ermittelten Anwohnenden durch Auszählen ermittelt. Die Referenzgebiete wurden nach geographischen Kriterien und nach Bebauungsdichte ausgewählt. Aus fünf Bereichen der Bundesrepublik wurden jeweils Gebiete in einem Ballungsraum, am Stadtrand und im ländlichen Bereich ausgewählt.

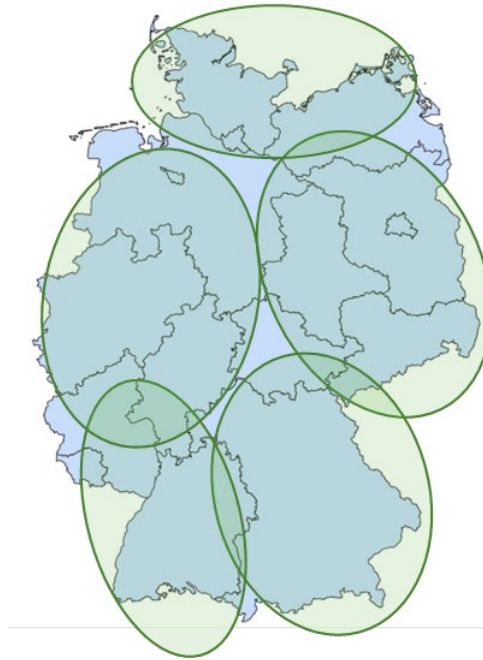


Abbildung 8: Auswahlbereiche für repräsentative Gebiete in Deutschland

Die Mittelung der erzielten Anteile angewandt auf die aus den schalltechnischen Untersuchungen förderfähigen Anwohnenden aus Abbildung 6 ergibt die in folgender Abbildung 9 dargestellte Gesamtzahl, der von der Lärmsanierung in den Jahren 1999 bis 2018 profitierenden Anwohnenden.

### 2.3.4 Darstellung der erreichten mittleren Pegelminderung durch aktive Maßnahmen

In den Sanierungsabschnitten werden durch die aktiven Schallschutzmaßnahmen Pegelminderungen an den Gebäuden im Einflussbereich der Schallschutzwände erzielt. Die Nutzen-Kosten-Bewertung zur Ermittlung der Förderfähigkeit der aktiven Schallschutzmaßnahme enthält die Größe der mittleren Pegelminderung durch die Maßnahme. Dabei wird die Pegelminderung durch die Maßnahme über die von Überschreitungen der Auslöswerte der Lärmsanierung betroffenen Gebäude gemittelt.

Die Höhe der mittleren Pegelminderung hängt im Wesentlichen von der Höhe der Schallschutzwand und in geringerem Maß von dem Abstandsbereich der betroffenen Gebäude ab. Die in den schalltechnischen Untersuchungen für die geförderten Maßnahmen dargestellten mittleren Pegelminderungen sind jahresweise über alle untersuchten Abschnitte gemittelt in folgender Abbildung 10 dargestellt.

Darstellung der durch das Lärmsanierungsprogramm erreichten Lärminderung sowie Abschätzung des noch benötigten Umsetzungszeitraums und finanziellen Volumens

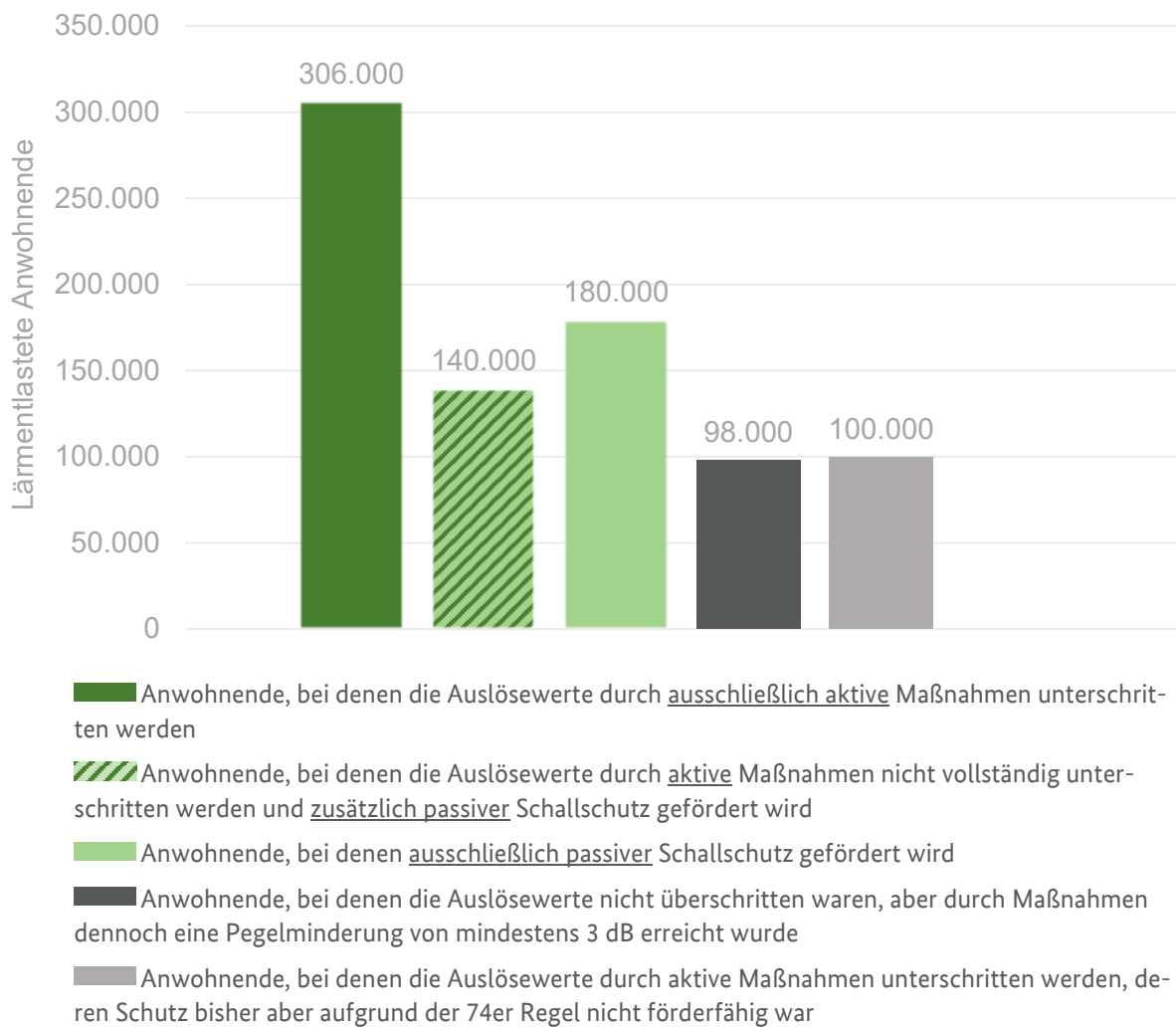


Abbildung 9: Zusammenfassende Darstellung der profitierenden Anwohnenden

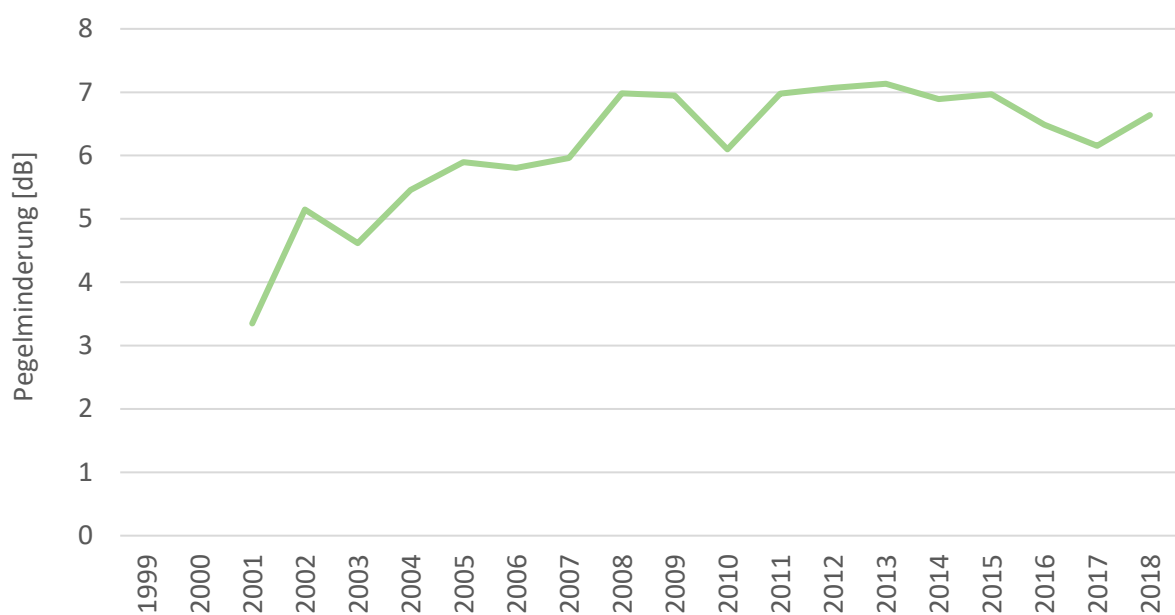


Abbildung 10: Mittlere Pegelminderung durch Schallschutzwände bei Anwohnenden, die von Überschreitungen der Auslösewerte betroffen waren, aus den schalltechnischen Untersuchungen



Wie bereits in Abbildung 1 dargestellt, wurden in den Anfangsjahren kaum schalltechnische Untersuchungen fertiggestellt, wodurch keine mittlere Pegelminderung zu erfassen ist. Die Höhe der mittleren Pegelminderung korrespondiert sehr gut mit den Höhen der Schallschutzwände in Abbildung 2. Während anfangs überwiegen Wandhöhen von 2,0 m gefördert wurden, hat sich seit 2008 die Errichtung von 3,0 m hohen Wänden durchgesetzt, die eine mittlere Pegelminderung von ca. 7 dB an den Gebäuden mit Überschreitungen der Auslösewerte erzielen.

### 2.3.5 Haushaltsmittel für die Lärmsanierung

Die Mittel zur Durchführung der Lärmsanierung werden aus dem Bundeshaushaltsplan zur Verfügung gestellt. Unter dem Titel 891 05 742 werden seit 1999 die finanziellen Mittel für die Lärmsanierung abgerufen (vgl. Abbildung 11). Die Höhe der zur Verfügung gestellten Haushaltsmittel wurde im Laufe des Bestehens der Lärmsanierung mehrfach angepasst.

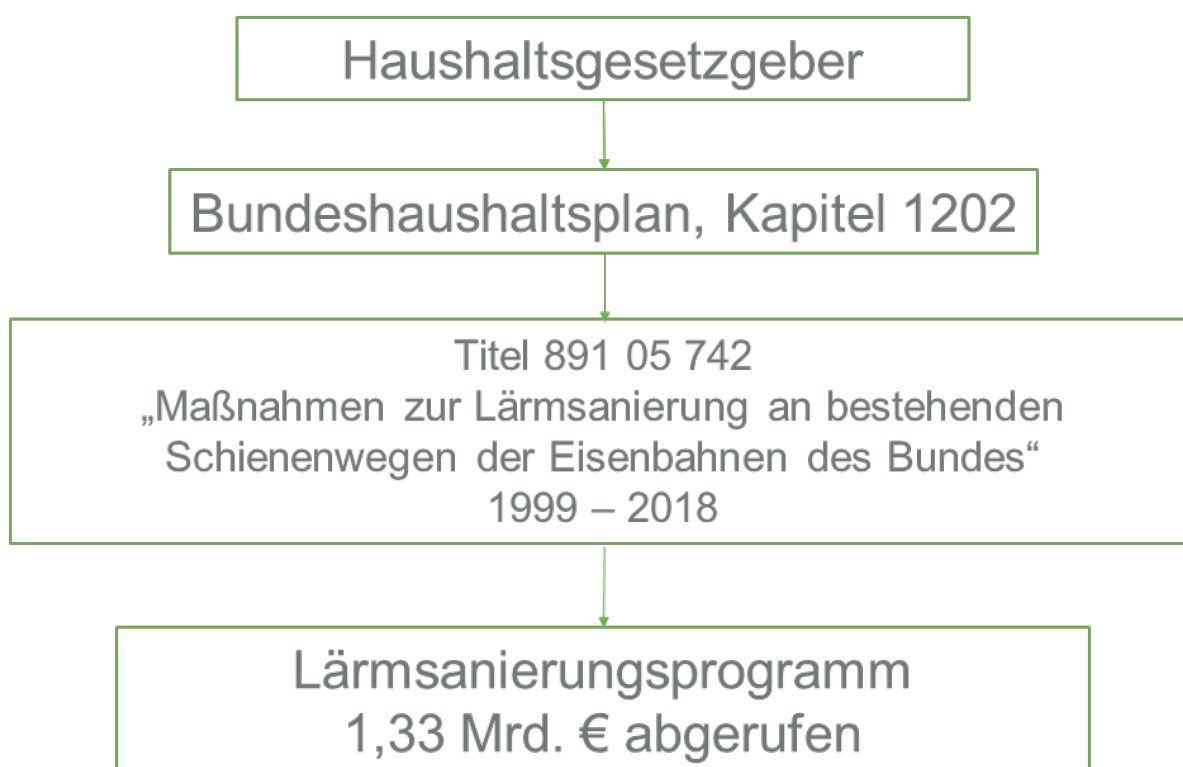


Abbildung 11: Aufbau des Bundeshaushaltsansatzes

Die abgerufenen Mittel werden zur Deckung von Planungs- und Baukosten verwendet. Dabei werden die Planungskosten mit einer Planungskostenpauschale von anfangs mindestens 13 Prozent und derzeit 18 Prozent (für aktive Maßnahmen) bzw. 24 Prozent (für passive Maßnahmen) der voraussichtlichen Baukosten abgegolten. Nach Auskunft der DB Netz AG übersteigen die Planungskosten jedoch häufig die Pauschale und werden in diesem Fall von der DB Netz AG selbst getragen. Die Baukosten zu den einzelnen Maßnahmen werden zumeist mehrere Jahre nach den Planungskosten abgerufen, sodass sich die nach Jahren aufgeteilte Aufschlüsselung der abgerufenen Mittel (siehe Abbildung 12) aus einem Anteil Planungs- und einem Teil Baukosten bestehen. Durch den zeitlichen Versatz zwischen Planung und Bau können die Planungskosten eines Jahres jedoch nicht zu denselben Abschnitten, in denen Baukosten abgerufen werden, zugezählt werden.

Darstellung der durch das Lärmsanierungsprogramm erreichten Lärminderung sowie Abschätzung des noch benötigten Umsetzungszeitraums und finanziellen Volumens

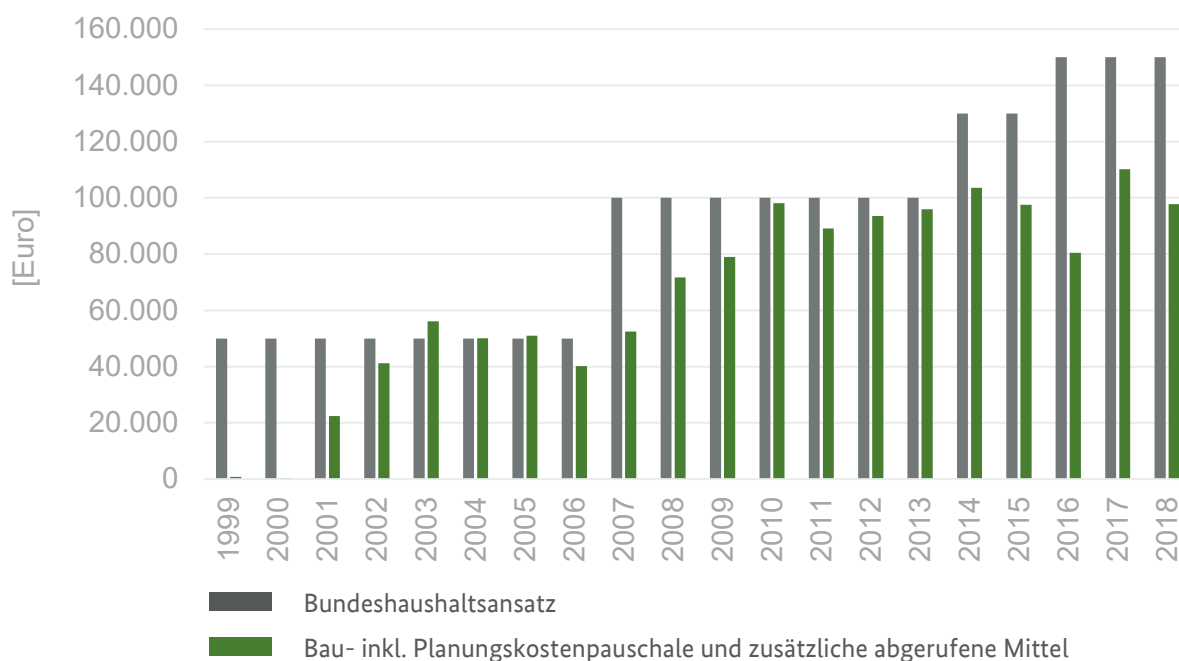


Abbildung 12: Darstellung des jährlichen Bundeshaushaltsansatz und der abgerufenen Baukosten inkl. Planungskostenpauschale

Seit Beginn der Lärmsanierung wurde der verfügbare Bundeshaushaltsansatz, welcher u. a. für das Lärmsanierungsprogramm bereitsteht, mehrfach erhöht. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur stellte für das Jahr 2020 139 Mio. € aus dem Titel 891 05 742 „Maßnahmen zur Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes“ u. a. für die freiwillige Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen bereit. Die verfügbaren, aber nicht abgerufenen Mittel können auf Antrag und nach Freigabe durch das BMF als Ausgabereserve in das Folgejahr übertragen werden.

Insgesamt wurden bis 2018 1,33 Mrd. € für die Maßnahmen des Lärmsanierungsprogramms verwendet [12]. In Abschnitt 2.3.1 (Abbildung 1) ist besonders für die Jahre 2005 bis 2014 eine Abnahme der jährlich durchgeführten schalltechnischen Untersuchungen zu erkennen, zugleich ist in Abbildung 3 seit 2004/2005 ein Anstieg der jährlich baulich umgesetzten Schallschutzwände zu entnehmen. Die abgerufenen Mittel enthalten Bau- inklusive Planungskostenpauschale. Dies erklärt den vor allem durch Baukosten verursachten Anstieg der abgerufenen Mittel zwischen den Jahren 2005 und 2014. Weiter wurden vom Lärmsanierungsprogramm Mittel in Höhe von 34,65 Mio. € in den Jahren 2001, 2005, 2010 und 2011 für Planungskosten und Umsatzsteuerbegleichung aus dem Haushaltstitel abgerufen. Die Abnahme ab dem Jahr 2014 ist darauf zurückzuführen, dass in diesem Zeitraum vermehrt Mittel für weitere Maßnahmen wie zum Beispiel die Förderung der Umrüstung der Bestandsgüterwagen auf lärmarme Bremstechniken, Maßnahmen zur innovativen Lärm- und Erschütterungsminderung (I-LENA) und Machbarkeitsuntersuchungen neben dem Lärmsanierungsprogramm aus dem Haushaltstitel in Anspruch genommen wurden.

### 2.3.6 Prognose des weiteren Fortschritts der Lärmsanierung

Die Evaluierung hat gezeigt, dass eine Prognose des weiteren Fortschritts für das Lärmsanierungsprogramm mit Unsicherheiten belastet ist. Unter anderem führen die regelmäßige Fortführung des Gesamtkonzeptes und Absenkungen der Auslösewerte der Lärmsanierung dazu, dass schalltechnische Untersuchungen bei noch nicht umgesetzten Maßnahmen überarbeitet werden müssen und zudem Gebiete auch auf niedrigere Auslösewerte nachsaniert werden müssen.

Eine Aussage über die zu erwartende verbleibende Laufzeit kann daher grundsätzlich nicht getroffen werden. Jedoch soll eine Aussage über die erzielbare Geschwindigkeit der weiteren Umsetzung des Programms getroffen werden. Laut DB Netz AG wurden in den Jahren 2016 bis 2019 überdurchschnittlich viele schalltechnische Untersuchungen durchgeführt, um einen Vorrat an Vorhaben zu erreichen, die baulich umgesetzt werden können. Für die Prognose des weiteren Fortschritts ist vor allem die Länge der mit aktiven Maßnahmen versehenen und auch baulich umgesetzten Abschnitte je Jahr aussagekräftig. Die bauliche Umsetzung aktiver Maßnahmen ist stärker als die Planung durch Kapazitäten von Bauunternehmen und notwendigen Sperrpausen begrenzt. Die Umsetzungszeiträume passiver Maßnahmen werden hier außer Acht gelassen, da diese häufig zeitlich nachgeordnet umgesetzt werden.

Um den Fortschritt der Umsetzung von Maßnahmen abschätzen zu können, wurde für die Jahre 2016 bis 2019 eine separate Auswertung der schalltechnischen Untersuchungen, deren aktive Schallschutzmaßnahmen in den Jahren 2016 bis 2019 baulich umgesetzt und abgeschlossen wurden, durchgeführt. Die zugehörigen schalltechnischen Untersuchungen wurden teilweise deutlich vor diesem Zeitraum fertiggestellt. Die Einteilung der Abschnitte in Jahre erfolgte also nicht nach Fertigstellung der Untersuchung, sondern nach Abschluss der baulichen Maßnahmen.

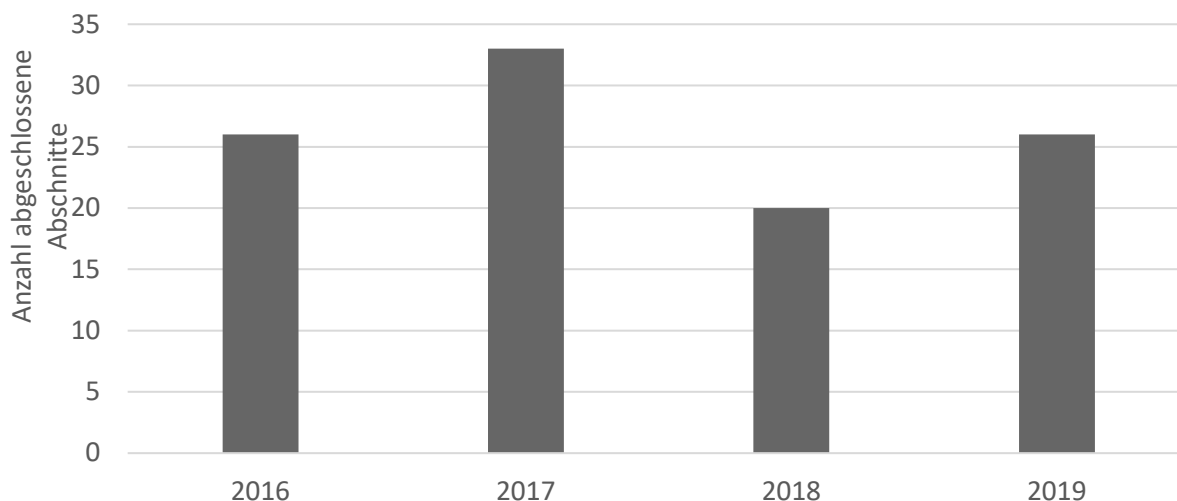


Abbildung 13: Darstellung der in den Jahren 2016 bis 2019 abgeschlossenen Lärmsanierungsabschnitte nach Gesamtkonzept [2]

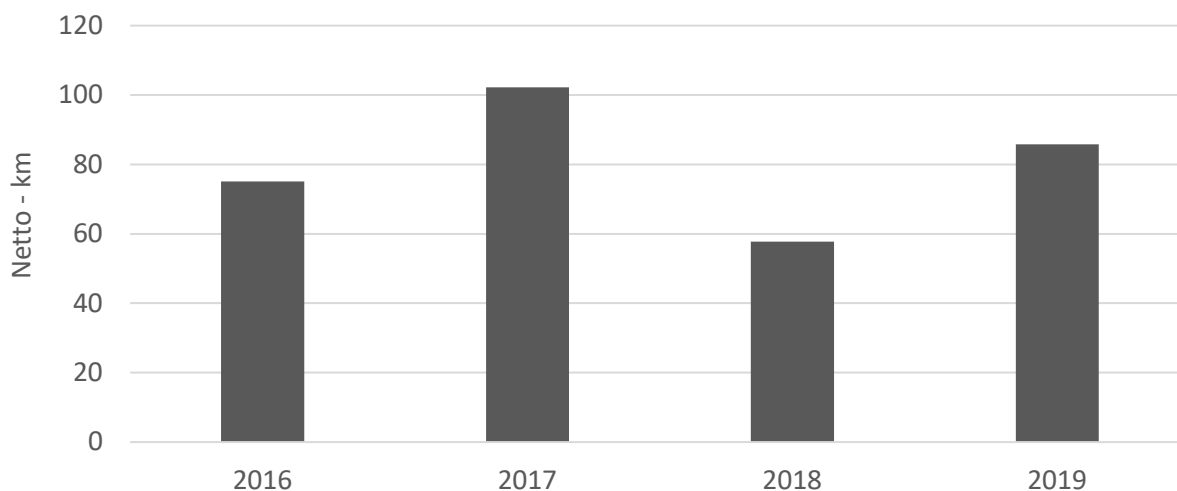


Abbildung 14: Darstellung der in den Jahren 2016 bis 2019 sanierten Netto-km (siehe Abbildung 16)

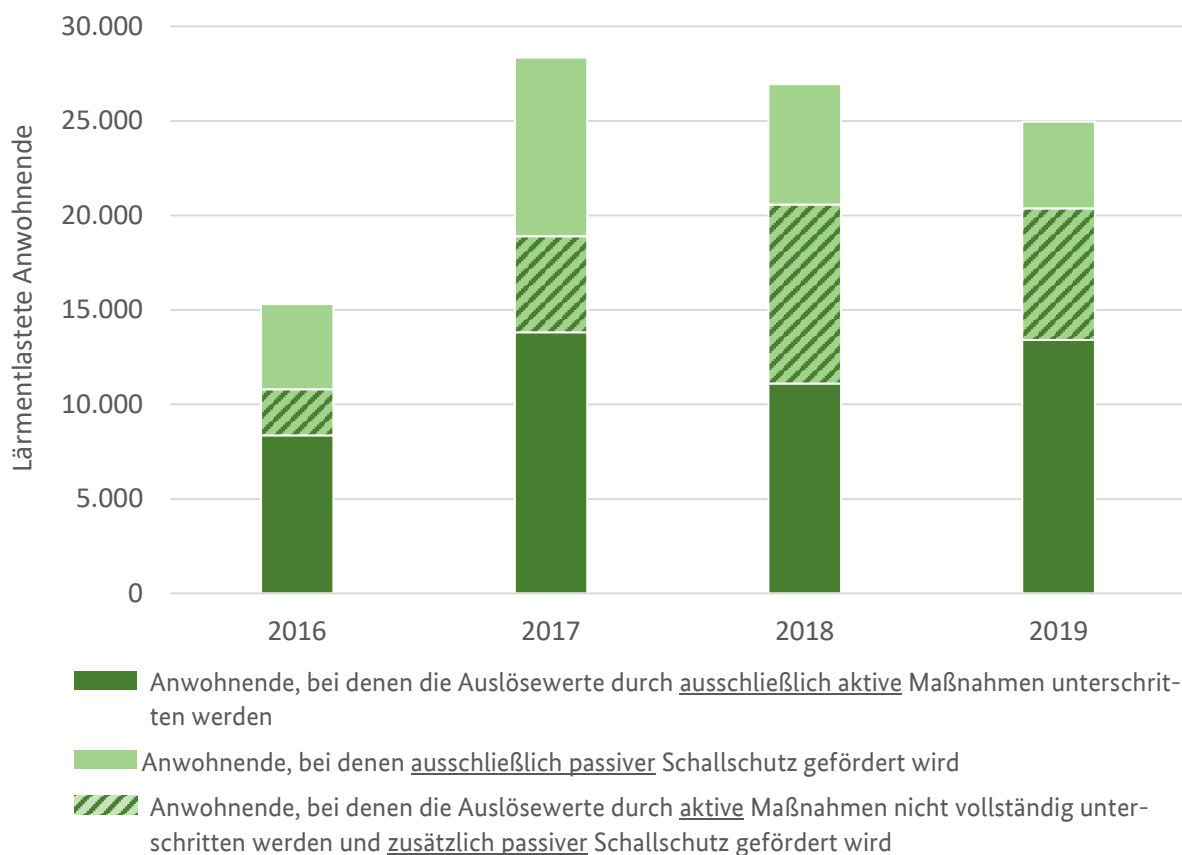


Abbildung 15: Darstellung der in den Jahren 2016 bis 2019 entlasteten Anwohnenden

Legt man die in Abbildung 13 bis Abbildung 15 dargestellten Auswertungen zu den Abschnitten der vergangenen vier Jahre als Maßstab für den weiteren Fortschritt der Lärmsanierung zugrunde, werden pro Jahr durchschnittlich

- 26 Abschnitte abgeschlossen,
- rund 24.000 Anwohnenden durch aktive, passive oder beide Maßnahmen entlastet und
- ca. 80 Netto-km Strecke lärmsaniert.

Nach Auskunft der DB Netz AG kann der Arbeitsfortschritt der vergangenen vier Jahre auch als realistisch für die kommenden Jahre angesehen werden.

Eine Abschätzung des weiteren Verlaufs ist am ehesten anhand der sanierten Streckenkilometer aussagekräftig, da ggf. davon ausgegangen werden kann, dass die Prioritätenliste nach den Belastungen gestaffelt abgearbeitet wird und mit zunehmendem Fortschritt z. B. die Zahl der entlasteten Anwohnenden je Sanierungsabschnitt tendenziell eher abnimmt.

Laut Anlage 3 des aktuellen Gesamtkonzepts [2] sind derzeit noch 4.530 Netto<sup>2</sup>-km zu sanieren. Bei gleichbleibender Geschwindigkeit der Lärmsanierung von durchschnittlich 80 km Sanierungsfortschritt

<sup>2</sup> Der Begriff der Brutto-km und Netto-km umschreibt die Unterscheidung der Streckenkilometer einer schalltechnisch zu untersuchenden Strecke (Brutto) gegenüber den Streckenabschnitten daraus, die in bebautem Bereich (z. B. Ortsdurchfahrten) gelegen sind (Netto).

pro Jahr würde sich rechnerisch eine Restdauer von über 50 Jahren ergeben. Unter Zugrundelegung der Kostenschätzungen aus dem Durchschnitt der Jahre 2016 – 2019 von ca. 114 Mio. € Planungs- und Baukosten pro Jahr, würden dabei bis zu einem Abschluss des derzeitigen Gesamtkonzepts [2] Mittel von ca. 5,7 Mrd. € erforderlich, ohne zu erwartende Steigerungen der Planungs- und vor allem Baukosten einzuberechnen.

Die Lärmsanierung ist jedoch als kontinuierlicher Prozess zu sehen, der mit zunehmendem Fortschritt ggfs. auch weitere Absenkungen der Auslösewerte mit sich bringen kann. Zudem können Kostensteigerungen und der dadurch verursachte Mittelbedarf den Fortschritt der Lärmsanierung beeinflussen. Eine abgesicherte Prognose der Restdauer der Lärmsanierung erscheint daher nicht zielführend.

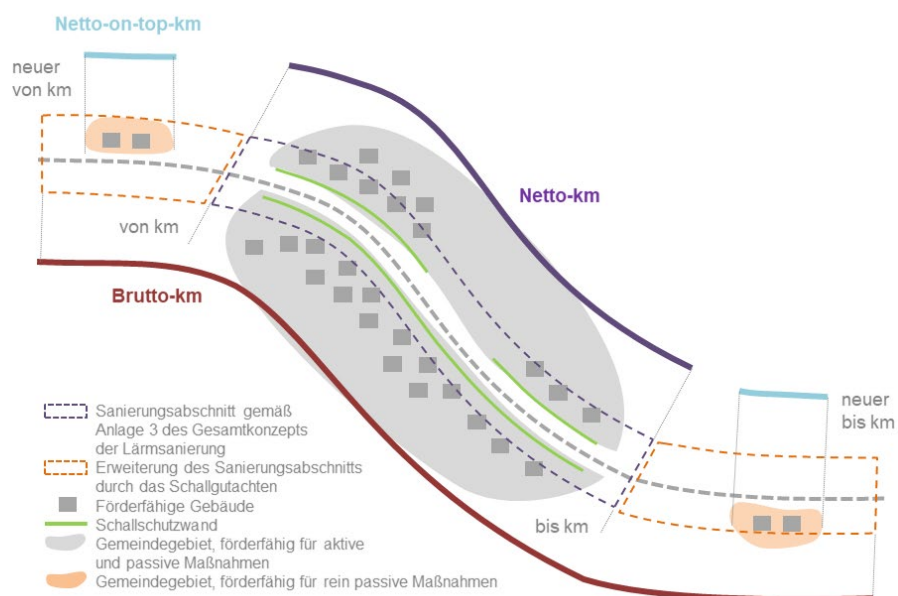


Abbildung 16: Schematische Darstellung der Unterscheidung von Brutto-km und Netto-km

## 3 Beschreibung der genutzten Techniken und ihrer Wirkungsweise

Im Folgenden werden die im Lärmsanierungsprogramm genutzten Techniken, deren Wirkweise und Vor- und Nachteile bzw. Anwendungsgebiete dargestellt.

### 3.1 Erforderliche Zulassungen und Nachweise

Damit eine Maßnahme im Lärmsanierungsprogramm eingesetzt werden kann, muss die Schutzwirkung durch das Rechenverfahren der Anlage 2 zur 16. BImSchV (Schall 03) [18] berücksichtigt werden können. Maßnahmen im Ausbreitungsweg (insbesondere Schallschutzwände), die ihre Pegelminderung durch Abschirmung erzeugen, sind ohne weiteren Nachweis im Rahmen der Ausbreitungsrechnung nach Schall 03 berechenbar. Für Maßnahmen an der Quelle (z. B. Infrastrukturmaßnahmen) ist entweder bereits der Nachweis nach Schall 03 erbracht oder er muss als abweichende Bahntechnik bzw. schalltechnische Innovation nach Kapitel 9 der Schall 03 eingeführt werden. Ist eine Technologie nach Schall 03 eingeführt, muss ein Produkt, das dieser Technologie zugeordnet werden will, entsprechende Verfahren zur Einführung durchlaufen.

Bevor eine Schallschutzmaßnahme im Eisenbahnbereich eingesetzt werden kann, sind unterschiedliche Prüfverfahren zu durchlaufen. Zunächst muss beim Eisenbahn-Bundesamt ein Antrag auf Zulassung und ein Anwenderleitfaden eingereicht werden. Nach erfolgreicher Prüfung der eisenbahn- und sicherheitstechnischen Anforderungen wird eine Zulassung erteilt und der Anwenderleitfaden geprüft und bestätigt. Die akustische Wirkung wird von einem Akustiklabor überprüft und mit dem erstellten Bericht bei der DB Systemtechnik GmbH eine akustische Freigabe beantragt. Die akustische Freigabe wird zusammen mit der Zulassung des Eisenbahn-Bundesamts und dem Anwenderleitfaden bei der DB Netz AG eingereicht und ein Antrag auf eine Anwendererklärung gestellt. Wird diese erteilt, kann die Schallschutzmaßnahme eingesetzt werden.

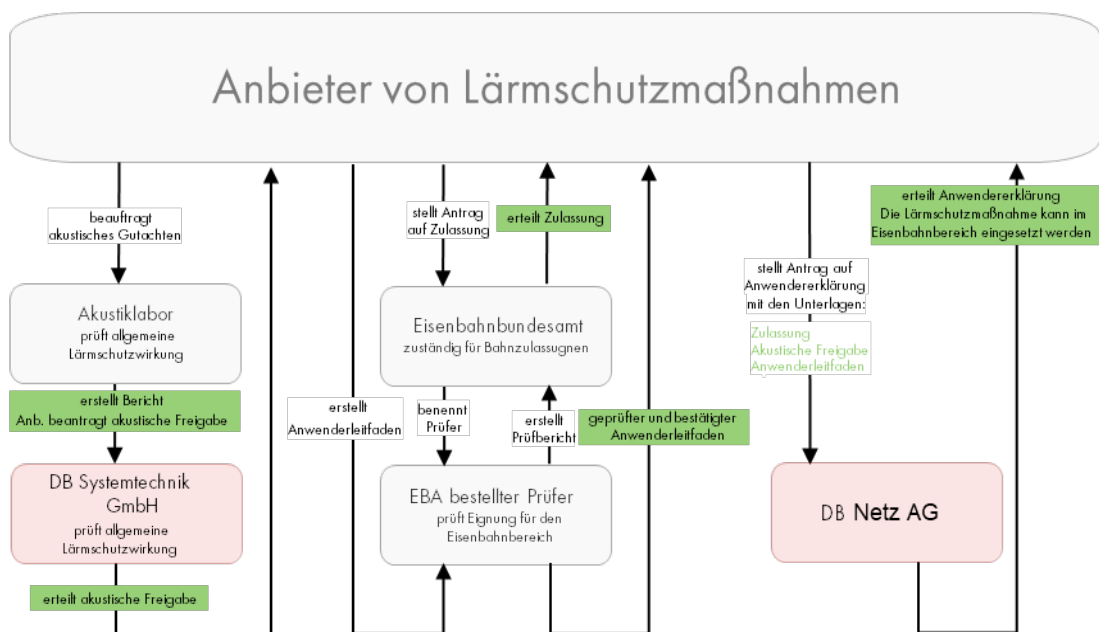


Abbildung 17: Schematische Darstellung der Einführung von Schallschutzmaßnahmen

## 3.2 Darstellung der Ergebnisse

Die derzeit förderfähigen Techniken des Lärmsanierungsprogramms sind in der Förderrichtlinie [5] festgelegt.

### 3.2.1 Schallschutzwand

<b>Eisenbahn-Bundesamt</b>	EBA Zulassung notwendig
<b>DB Netz AG</b>	Freigabe nach Ril 804.5501
<b>Schalltechnische Wirksamkeit als Pegelminderung</b>	7 dB im Mittel, siehe Kapitel 2.3.4
<b>Kosten für Herstellung</b>	2.300 € / lfm bei 2,0 m über Schienenoberkante 2.530 € / lfm bei 2,5 m über Schienenoberkante 2.760 € / lfm bei 3,0 m über Schienenoberkante [26] Laut Ausführungsbestimmung [9] werden für die Mehrkosten pro weitere 0,5 m Wandhöhe 10 % der Baukosten der 2,0 m üb. SO angesetzt.
<b>Kosten für Unterhalt und Instandhaltung</b>	ca. 10.000 €/km/ Jahr nach [15]
<b>Nutzungsdauer</b>	25 Jahre [6]
<b>Vorteile</b>	hohe Pegelminderung lange Nutzungsdauer
<b>Nachteile</b>	erschwerter Zugang zum Gleisbereich Verschattung durch große Höhe Wirksamkeit abhängig von Topographie (Höhenlage des Gleises; Abstand zwischen Wand und Immissionsort)
<b>Technische Einschränkungen</b>	Pegelminderung nimmt mit Abstand zur Schallschutzwand ab.
<b>Akzeptanz</b>	gering, durch den Eingriff ins Orts- und Landschaftsbild.
<b>Einsetzbare Produkte, Zulassung und Freigabe vorhanden</b>	siehe Anlage 1 [22]

### 3.2.2 Niedrige Schallschutzwand

<b>Eisenbahn-Bundesamt</b>	EBA Zulassung notwendig
<b>DB Netz AG</b>	Freigabe nach Ril 804.5501
<b>Schalltechnische Wirksamkeit als Pegelminderung</b>	nSSW 55 cm über SO: 3 dB nSSW 74 cm über SO 6 dB [17]
<b>Kosten für Herstellung</b>	nSSW 55 cm über SO: 1.226,5 €/ lfm nSSW 74 cm über SO: 1.152,0 €/ lfm Kippbare nSSW 55 cm über SO: 1.900,0 €/ lfm Schwenkbare nSSW 74 cm über SO: 1.651,3 €/ lfm [17]
<b>Kosten für Unterhalt und Instandhaltung</b>	k. A.
<b>Nutzungsdauer</b>	Ausführung als Gabionen ca. 70 Jahre [15] Betonwand ca. 45 Jahre [15]; Bilanzielle Nutzungsdauer 25 Jahre [17], [7]
<b>Vorteile</b>	bei Einsatz in günstiger Topographie (Dammlage) kostengünstiger als herkömmliche Schallschutzwand; keine Störung von Sichtbeziehung bzw. Verschattung
<b>Nachteile</b>	Erschwernis bei Instandhaltung des Gleises; geringe Wirksamkeit bei mehrgleisigen Anlagen
<b>Technische Einschränkungen</b>	ggf. Einschränkung bzgl. Flucht- bzw. Rettungswegekonzept Transporte mit Lademaßüberschreitung erfordern klapp- oder schwenkbare Lösungen
<b>Akzeptanz</b>	unauffällig im Landschaftsbild besonders wirksam in Dammlagen, wo konventionelle Schallschutzwand aus optischen Gesichtspunkten (Verschattung) umstritten sind
<b>Einsetzbare Produkte, Zulassung und Freigabe vorhanden</b>	siehe Anlage 1 [22]



### 3.2.3 Schienenstegdämpfer

<b>Eisenbahn-Bundesamt</b>	EBA Zulassung notwendig
<b>DB Netz AG</b>	Freigabe nach DBS 918 290
<b>Schalltechnische Wirksamkeit als Pegelminderung</b>	Frequenzabhängig nach Tabelle 8, Zeilen 2 und 3 der Schall 03 [18] Im Mittel 2 dB nach [17] <sup>3</sup>
<b>Kosten für Herstellung</b>	226,2 €/ lfm [17]
<b>Kosten für Unterhalt und Instandhaltung</b>	k. A. [17] jährliche Instandhaltungserschwerisse: 10,70 €/ lfm [17]
<b>Nutzungsdauer</b>	bilanziell 13 Jahre [17]
<b>Vorteile</b>	Wirkung emissionsseitig, damit unabhängig von Topographie
<b>Nachteile</b>	Erschwernis bei Instandhaltung des Gleises; in der Regel teurer als wirkungsgleiche Erhöhung der konventionellen Schallschutzwand, dadurch im direkten Vergleich häufig schlechteres Nutzen-Kosten-Verhältnis
<b>Technische Einschränkungen</b>	Nach [17] kein Einbau möglich bei Brücke mit offener Fahrbahn im Bereich von Schienenauszügen Weichen, Isolierstößen Gleisschaltmitteln, Achsenzählern Linienzugbeeinflussung
<b>Akzeptanz</b>	unauffällig im Landschaftsbild.
<b>Einsetzbare Produkte, Zulassung und Freigabe vorhanden</b>	Schrey & Veit GmbH, VICON AMSA FSV [22]

<sup>3</sup> Tatsächlich ist die Wirksamkeit der Maßnahme sowohl vom Oberbau (höhere Wirksamkeit bei weichen Zwischenlagen) als auch vom Wagenmaterial (Anteil der Rollgeräusches am Gesamtgeräusch) abhängig

### 3.2.4 Schienenstegabschirmung

<b>Eisenbahn-Bundesamt</b>	EBA Zulassung notwendig
<b>DB Netz AG</b>	Freigabe nach DBS 918 291
<b>Schalltechnische Wirksamkeit als Pegelminderung</b>	Frequenzabhängig nach Tabelle 8, Zeile 4 der Schall 03 [18] Im Mittel 3 dB nach [17] 4
<b>Kosten für Herstellung</b>	163,7 €/ lfm [17]
<b>Kosten für Unterhalt und Instandhaltung</b>	k. A. [17] Jährliche Instandhaltungserschwernde: 11,7 €/ lfm [17]
<b>Nutzungsdauer</b>	bilanziell 13 Jahre [17]
<b>Vorteile</b>	Wirkung emissionsseitig, damit unabhängig von Topographie
<b>Nachteile</b>	Erschwernis bei Instandhaltung des Gleises; in der Regel teurer als wirkungsgleiche Erhöhung der konventionellen Schallschutzwand, dadurch im direkten Vergleich häufig schlechteres Nutzen-Kosten-Verhältnis
<b>Technische Einschränkungen</b>	nach [17] kein Einbau möglich bei Brücke mit offener Fahrbahn im Bereich von Schienenauszügen Weichen, Isolierstößen Gleisschaltmitteln, Achsenzählern Linienzugbeeinflussung
<b>Akzeptanz</b>	unauffällig im Landschaftsbild.
<b>Einsetzbare Produkte, Zulassung und Freigabe vorhanden</b>	derzeit nur Produkte mit EBA Zulassung vorhanden, jedoch keine Freigabe der DB Netz AG

<sup>4</sup> Auch hier ist die tatsächliche Wirksamkeit vom Anteil des Rollgeräusches am Gesamtgeräusch abhängig

### 3.2.5 Schienenschmier- und – konditionieranlagen

<b>Eisenbahn-Bundesamt</b>	EBA Zulassung notwendig
<b>DB Netz AG</b>	Freigabe nach Ril 950.1035
<b>Schalltechnische Wirksamkeit als Pegelminderung</b>	ausschließlich in Kurvenbereichen abhängig von Radius wirksam: 3 dB laut Tabelle 11 Spalte D Zeilen 1 und 2 der Schall 03 [18] nach [15] 5 dB bei Bogenradius von 180 m nach [17] 3 dB bei Bogenradius > 300 m
<b>Kosten für Herstellung</b>	54,7 €/ lfm [17]
<b>Kosten für Unterhalt und Instandhaltung</b>	10,4 €/ lfm [17]
<b>Nutzungsdauer</b>	bilanziell 13 Jahre nach [17]
<b>Vorteile</b>	Wirkung emissionsseitig, damit unabhängig von Topographie
<b>Nachteile</b>	Erschwernis bei Instandhaltung des Gleises;
<b>Technische Einschränkungen</b>	Nutzung nur in Kurvenbereichen
<b>Akzeptanz</b>	unauffällig im Landschaftsbild.
<b>Einsetzbare Produkte, Zulassung und Freigabe vorhanden</b>	Elektro-Thermit GmbH & Co. KG, HY-POWER Produktions und Handels GmbH, Rail Partner Deutschland GmbH [23]

### 3.2.6 Unterschottermatten

<b>Eisenbahn-Bundesamt</b>	EBA Zulassung nicht notwendig
<b>DB Netz AG</b>	Freigabe nach Ril 820.2010 Kap.8
<b>Schalltechnische Wirksamkeit als Pegelminderung</b>	nach [17], Minderung von Körperschall, sowie nur Projektbezogene Einfall Bewertung möglich
<b>Kosten für Herstellung</b>	1.410,0 €/ lfm [17]
<b>Kosten für Unterhalt und Instandhaltung</b>	keine [17]
<b>Nutzungsdauer</b>	bilanziell 26 Jahre [5], [17]
<b>Vorteile</b>	Wirkung emissionsseitig, damit unabhängig von Topographie Minderung von Erschütterungen Verlängerung von Instandhaltungsintervallen der Bettungsreinigung [17]
<b>Nachteile</b>	höherer Aufwand bei Bettungsreinigungen [17]
<b>Technische Einschränkungen</b>	bei Anwendung muss sichergestellt werden, dass der Schotter aufgrund der Schwingungen der USM bei der Zugvorbeifahrten nicht seitlich wegfließen kann [17]
<b>Akzeptanz</b>	unauffällig im Landschaftsbild.
<b>Einsetzbare Produkte, Zulassung und Freigabe vorhanden</b>	Fa. Getzner Werkstoffe GmbH [24]

### 3.2.7 Hochelastische Schienenlagerung

<b>Eisenbahn-Bundesamt</b>	EBA Zulassung notwendig
<b>DB Netz AG</b>	Freigabe nach Ril 820.2040
<b>Schalltechnische Wirksamkeit als Pegelminderung</b>	4,3 dB [17]
<b>Kosten für Herstellung</b>	k. A. [17]
<b>Kosten für Unterhalt und Instandhaltung</b>	keine [17]
<b>Nutzungsdauer</b>	bilanziell 13 Jahre [5]
<b>Vorteile</b>	können auch bei Brücken eingesetzt werden, wenn das Brückendröhnen bei niedrigen Frequenzen ausgeprägt ist [17]
<b>Nachteile</b>	wird lediglich zur Reduzierung des Brückendröhnen eingesetzt
<b>Technische Einschränkungen</b>	kann nur bei Brücken mit stählernem Überbau und direkt aufgelagerten Gleisen eingesetzt werden
<b>Akzeptanz</b>	unauffällig im Landschaftsbild.
<b>Einsetzbare Produkte, Zulassung und Freigabe vorhanden</b>	Fa. Voestalpine BWG GmbH [24]

### 3.2.8 Brückendämpfer

<b>Eisenbahn-Bundesamt</b>	EBA Zulassung nicht notwendig
<b>DB Netz AG</b>	Freigabe im Einzelfall durch die Abteilung Brücken Bauder DB Netz AG
<b>Schalltechnische Wirksamkeit als Pegelminderung</b>	3,4 dB Wirkung Brückenzuschlag [17] 4,9 dB Wirkung Körperschall [17]
<b>Kosten für Herstellung</b>	k. A. [17]
<b>Kosten für Unterhalt und Instandhaltung</b>	keine [17]
<b>Nutzungsdauer</b>	bilanziell 25 Jahre [5]
<b>Vorteile</b>	können auch bei Brücken eingesetzt werden, wenn das Brückendröhnen bei niedrigen Frequenzen ausgeprägt ist [17]
<b>Nachteile</b>	wird lediglich zur Reduzierung des Brückendröhnen eingesetzt
<b>Technische Einschränkungen</b>	spezielle Anpassung an die jeweilige Brücke
<b>Akzeptanz</b>	unauffällig im Landschaftsbild.
<b>Einsetzbare Produkte, Zulassung und Freigabe vorhanden</b>	Freigaben werden im Einzelfall erteilt, ob ein Produkt einsetzbar ist hängt vom jeweiligen Projekt ab

## 4 Subjektiver Eindruck von Nutzen und Wirkung der Lärmsanierung bei Betroffenen

### 4.1 Psychologisch-sozialwissenschaftlicher Teil

Die akustische Betrachtung der Wirksamkeit von Lärmsanierungsmaßnahmen im Rahmen des freiwilligen Lärmsanierungsprogramms an Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes wurde durch eine sozialwissenschaftliche Erhebung zur Akzeptanz und Wirkung der Maßnahmen komplementiert.

Aus der psychologischen Lärmwirkungsforschung ist bekannt, dass eine reine Abschätzung akustischer Parameter nicht alleine die Lärmbelastigungsurteile von Anwohnenden erklären kann. Akustisch realisierte Verbesserungen in Dezibel stimmen demnach nicht immer mit einer Verbesserung von Belästigungswerten überein. Vielmehr spielen weitere, oft nicht-akustische Faktoren, eine wichtige Rolle bei der Bildung von Belästigungsurteilen (u. a. Guski, 1999), wie beispielsweise die Einstellung zur Geräuschquelle oder das Vertrauen in für Lärmquellen verantwortliche Institutionen.

Das Ziel des vorliegenden Arbeitspakets war die Realisierung einer Befragung von Anwohnenden an Schienenstreckenabschnitten, an denen im Rahmen des Lärmsanierungsprogramms eine Maßnahme zur Minderung von Schienenverkehrslärm geplant oder bereits umgesetzt wurde. Zentrale Fragen in diesem Projekt sind, ob die Lärmsanierungsmaßnahme einen wahrgenommenen Effekt hat und inwiefern sie auch akzeptiert wird, welche Veränderungen wahrgenommen werden und wie die Zufriedenheit mit den Lärmsanierungsmaßnahmen bewertet wird. Weiterhin wird untersucht, ob es Diskrepanzen oder Übereinstimmungen zwischen psycho-akustischen Beurteilungen mit Bewertungen von Anwohnenden an Schienenwegen gibt.

#### 4.1.1 Untersuchte Gebiete und Adressgewinnung

Die DB Netz AG übergab im Auftrag des Eisenbahn-Bundesamtes an den Auftragnehmer Pläne mit den Gebieten, in denen Lärmsanierungsmaßnahmen im Rahmen des Lärmsanierungsprogramms des Bundes geplant sind. Drei Arten von Schallschutzmaßnahmen an Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes sollten untersucht werden: aktive Schallschutzmaßnahmen, wobei hierbei explizit Schienenstegdämpfer sowie Schallschutzwände untersucht wurden, und passive Schallschutzmaßnahmen (Einbau von Schallschutzfenstern und ggf. Lüftern).

Die Auswahl der Untersuchungsstrecken erfolgte in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber. Eine Ortsbegehung an den ausgewählten Gebieten wurde durchgeführt, um die Eignung der Gebiete zu prüfen und etwaige vorliegende Störfaktoren wie andere vorliegende Lärmquellen (Fluglärm, Gewerbe) auszuschließen. Die Evaluation wurde in insgesamt acht Untersuchungsgebieten durchgeführt (siehe Tabelle 2).

TABELLE 2: ÜBERSICHT ÜBER DIE ACHT UNTERSUCHUNGSGEBIETE MIT ART DER SCHALLSCHUTZMAßNAHME UND IMPLEMENTIERUNGSZEITRAUM.

Art Schallschutzmaßnahme	Untersuchungsgebiet	Laufzeit Implementierung*
ASS: Schienenstegdämpfer	Mittelrheintal** (Filsen, Sankt Goarshausen, Kestert, Kamp-Bornhofen) (RLP)	Mai - Juli 2019
	Koblenz-Lahnstein (RLP)	31.01. – 31.10.2020
ASS: Schallschutzwand (klassisch)	Besigheim (BW)	Januar - März 2020
	Friedberg (HE)	06.01.- 31.07.2019
ASS: Schallschutzwand (Gabione)	Gröbenzell (BY)	Implementierung 2015, Fertigstellung 2018
PSS	Sindelfingen (BW)	Im Prozess***
	Walheim (BW)	Im Prozess
	Fulda (HE)	Im Prozess

Erläuterungen: ASS: Aktiver Schallschutz, PSS: Passiver Schallschutz

\* Laufzeit nach Angaben der DB Netz AG,

\*\* Hinweis: Maßnahmen aus Sonderprogramm Lärmschutz, nicht Lärmsanierungsprogramm.

\*\*\* im Prozess: zum Zeitpunkt der Befragung konnte nicht abgeschätzt werden, in welchem Stadium der Implementierung sich der passive Schallschutz in den angeschriebenen Haushalten jeweils befand.

### Mittelrheintal 1 und 2

Im Mittelrheintal wurden zwei Nachherbefragungen zur Wirksamkeit von Schienenstegdämpfern durchgeführt. Die Befragungen fanden in den Ortsdurchfahrten Leutesdorf, Filsen, Kamp-Bornhofen, Kestert und Sankt Goarshausen statt. Die Abschnitte befinden sich an der Bahnstrecke 3507 zwischen Bahn-km 93,0 und Bahn-km 106,5. Hinweis: Bei den Untersuchungsgebieten im Mittelrheintal handelt es sich um Maßnahmen aus dem Sonderprogramm Lärmschutz, nicht um Maßnahmen des Lärmsanierungsprogramms. Die Gebiete wurden mitaufgenommen, um Vergleiche mit der Lärminderungsart Schienenstegdämpfer treffen zu können. Hier sollte außerdem darauf hingewiesen werden, dass das Mittelrheintal bereits eine lange und komplexe Geschichte bezüglich der Implementierung von Schallschutzmaßnahmen für Schienenverkehrslärm hat. Dies resultiert unter anderem daraus, dass hier eine beträchtliche Anzahl an nächtlichen Güterverkehrszügen verkehrt.



## Friedberg 1 und 2

In der Stadt Friedberg in Hessen wurden zwei Nachherbefragungen durchgeführt. Die schalltechnische Untersuchung hat eine Förderfähigkeit von 1016 Gebäuden ergeben, die unter anderem in Form von aktiven Maßnahmen geschützt werden. Der Lärmsanierungsabschnitt liegt an der Bahnstrecke 3900 zwischen Bahn-km 164,2 und Bahn-km 166,3 (vgl. Abbildung 18). Durch den Abschnitt verlaufen zudem auch die Strecken 3742, 3740 und 3611.

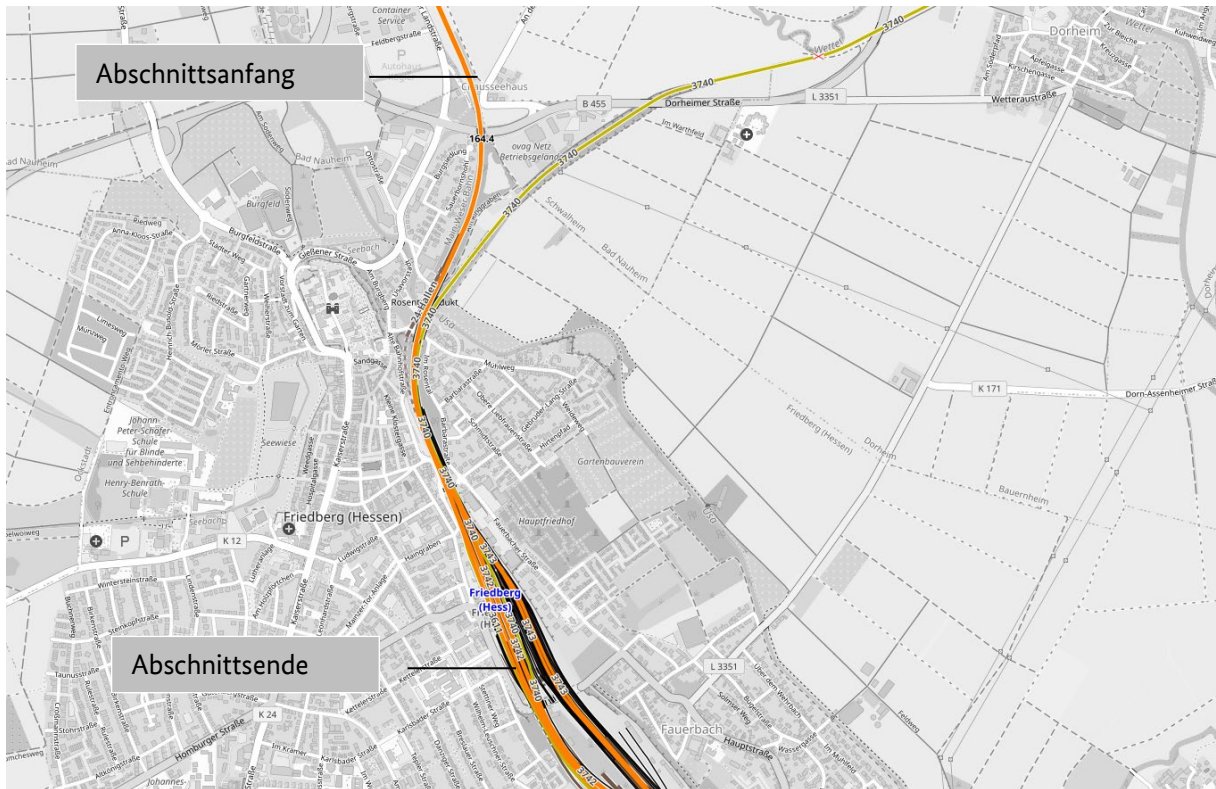


Abbildung 18: Untersuchungsgebiet Friedberg (Hessen); Quelle: openrailwaymap.org

## Besigheim

Die Stadt Besigheim in Baden-Württemberg wurde für eine Vorherbefragung ausgewählt. Der Lärmsanierungsabschnitt befindet sich an der Bahnstrecke 4900 zwischen Bahn-km 27,9 und Bahn-km 30,9 (vgl. Abbildung 19). Die schalltechnische Untersuchung ergab für 195 Gebäude eine Förderfähigkeit von Schallschutzmaßnahmen.

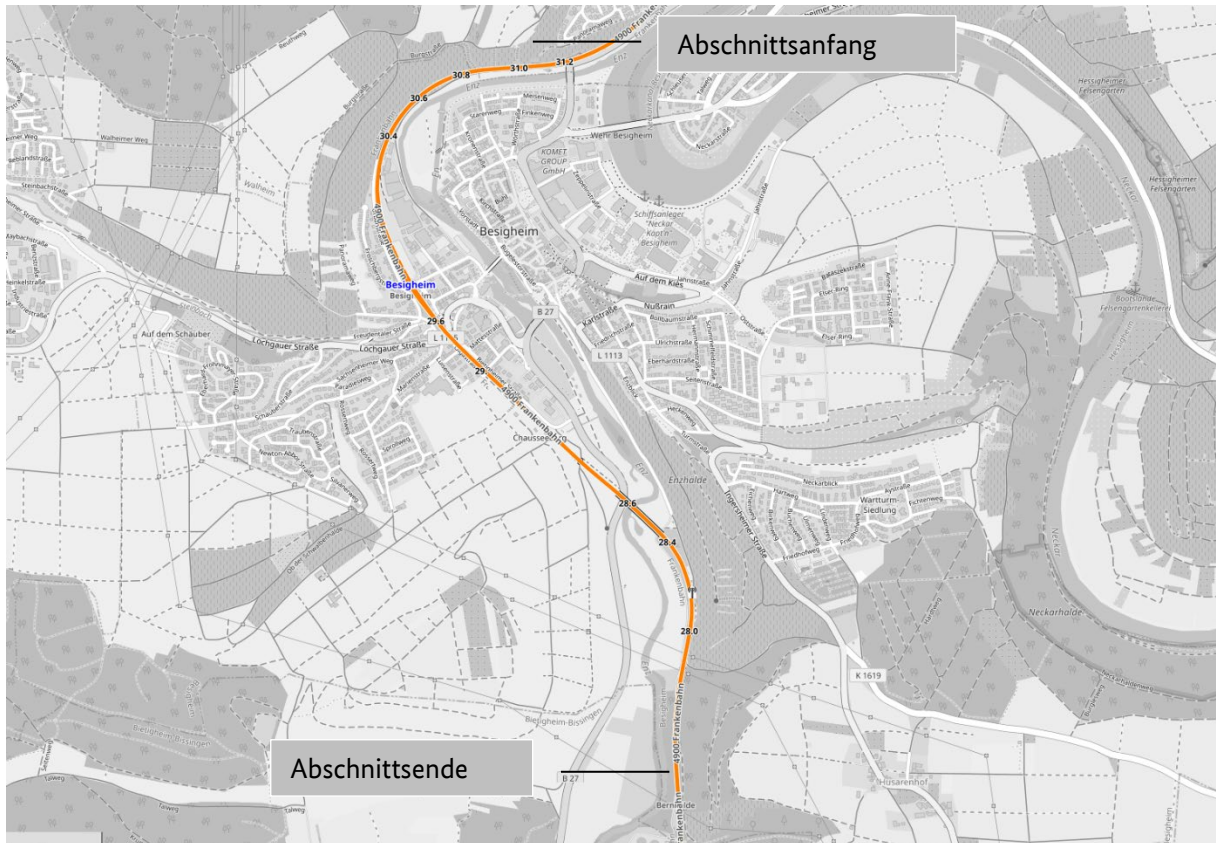


Abbildung 19: Untersuchungsgebiet Besigheim; Quelle: openrailwaymap.org

## Gröbenzell

Die Gemeinde Gröbenzell in Bayern wurde für eine Nachherbefragung zu aktiven Schallschutzmaßnahmen ausgewählt. Die Schallschutzwand in Gröbenzell wurde als Gabione ausgeführt. Der Lärmsanierungsabschnitt befindet sich an der Bahnstrecke 5561 zwischen Bahn-km 1,7 und Bahn-km 3,6 und an der Bahnstrecke 5560 zwischen Bahn-km 6,8 und Bahn-km 7,2 (vgl. Abbildung 20). Die schalltechnische Untersuchung ergab für 169 Gebäude eine Förderfähigkeit von Schallschutzmaßnahmen.

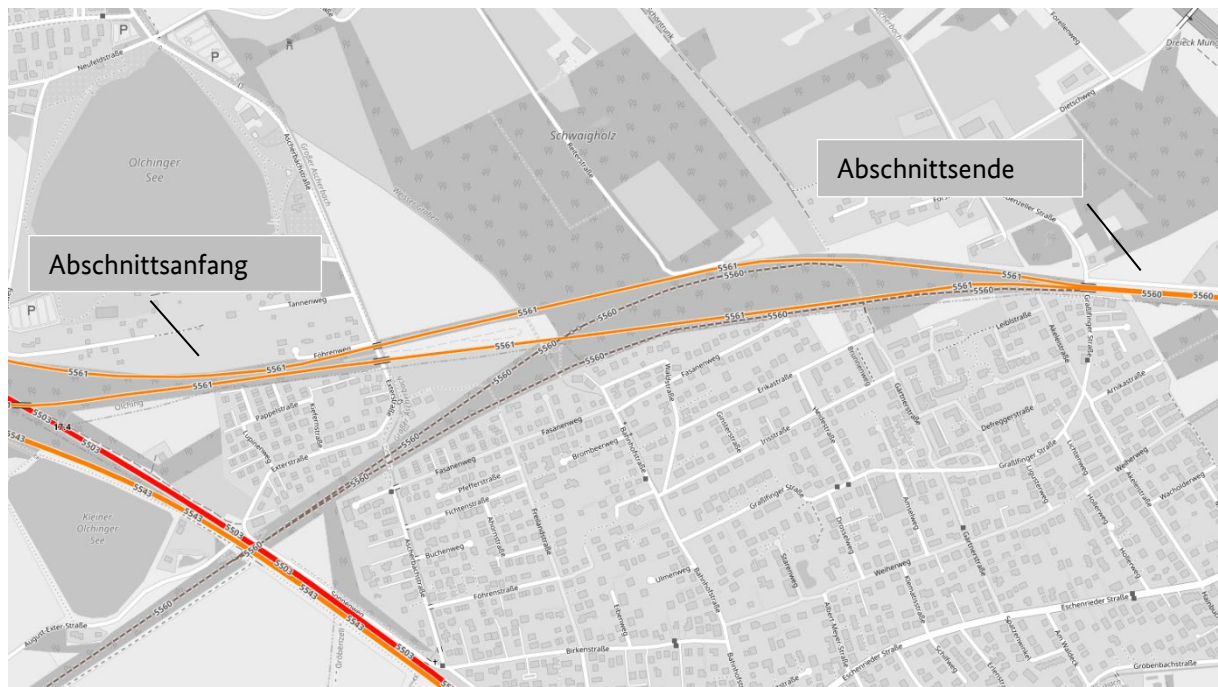


Abbildung 20: Untersuchungsgebiet Gröbenzell; Quelle: openrailwaymap.org

## Koblenz-Lahnstein

Die Stadt Lahnstein in Rheinland-Pfalz im Mittelrheintal wurde für eine Vorherbefragung zu Schienestegdämpfern ausgewählt. Der Lärmsanierungsabschnitt befindet sich an der Bahnstrecke 3507 zwischen Bahn-km 120,1 und Bahn-km 122,9. Die schalltechnische Untersuchung ergab für 263 Gebäude eine Förderfähigkeit von Schallschutzmaßnahmen.

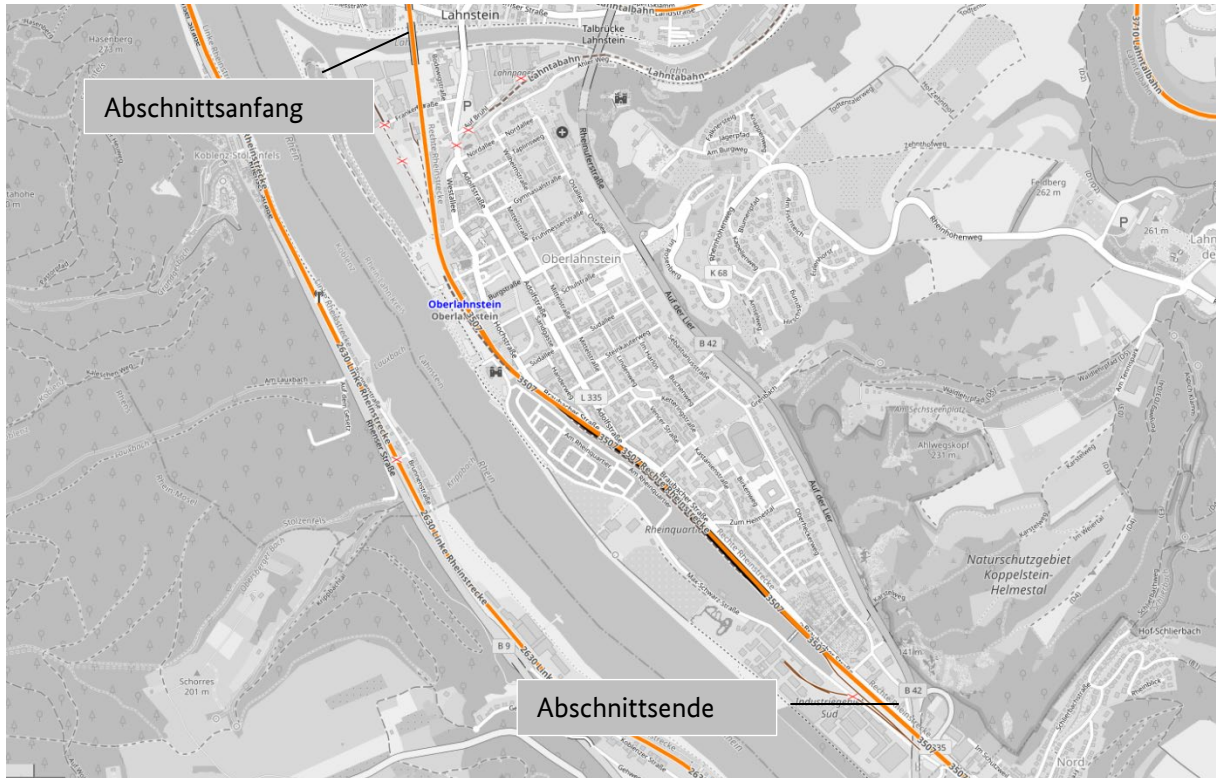


Abbildung 21: Untersuchungsgebiet Koblenz-Lahnstein; Quelle: openrailwaymap.org

## Fulda

Die Stadt Fulda in Hessen wurde für eine Vorher- und Nachherbefragung ausgewählt, da in diesem Lärmsanierungsabschnitt die geplanten Schallschutzmaßnahmen im Befragungszeitraum umgesetzt werden. In dieser Ortsdurchfahrt wurden ausschließlich Befragungen zu passiven Schallschutzmaßnahmen durchgeführt, da die schalltechnische Untersuchung lediglich für passive Maßnahmen eine Förderfähigkeit ergab. Der Lärmsanierungsabschnitt befindet sich an der Bahn Strecke 3600 von Bahn-km 113,8 bis Bahn-km 113,9 (vgl. Abbildung 22).

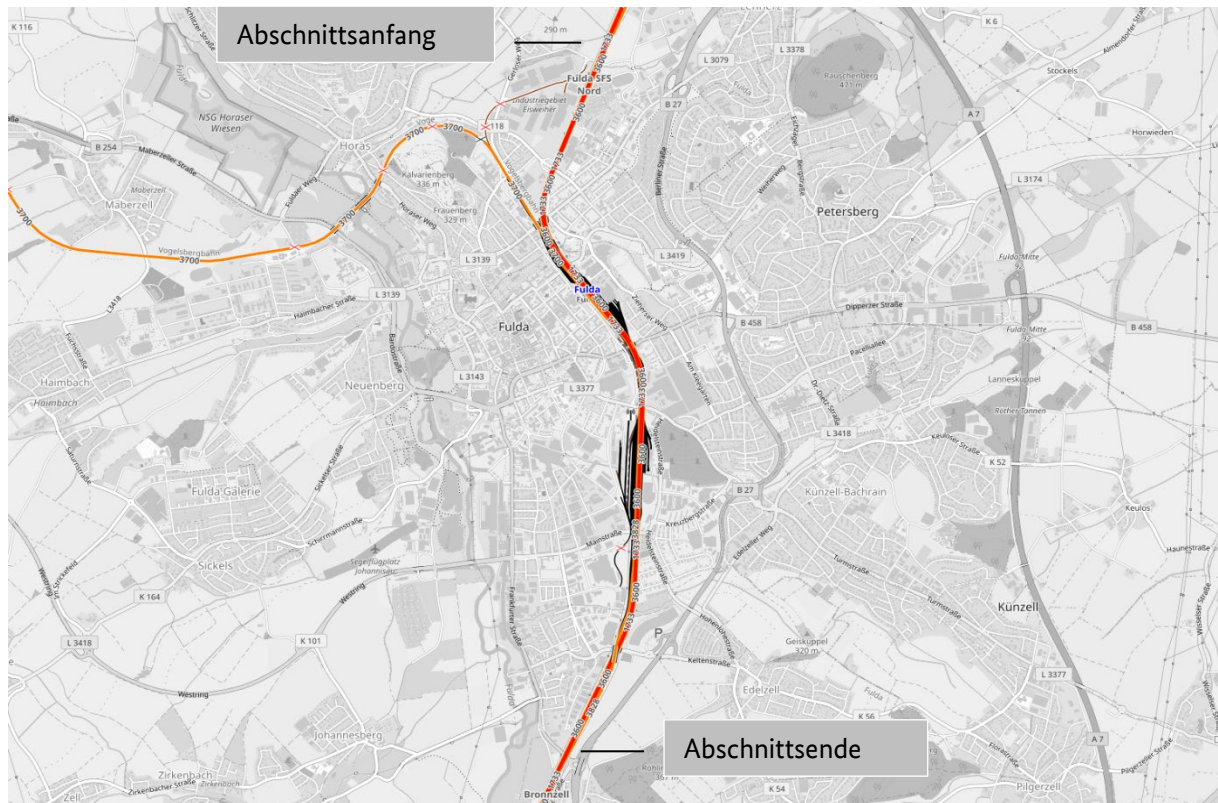


Abbildung 22: Untersuchungsgebiet Fulda; Quelle: openrailwaymap.org

## Sindelfingen

Die Kreisstadt Sindelfingen in Baden-Württemberg wurde für eine Vorherbefragung ausgewählt. In dieser Ortsdurchfahrt wurden ausschließlich Befragungen zu passiven Schallschutzmaßnahmen durchgeführt. Der Lärmsanierungsabschnitt befindet sich an der Bahn Strecke 4870 von Bahn-km 0,9 bis Bahn-km 6,8 in diesem Abschnitt sind laut Schalltechnischer Untersuchung 49 Wohneinheiten förderfähig. Im Abschnitt zwischen Sindelfingen und Renningen erfolgte ein Ausbau der elektrifizierten, eingleisigen Güterverkehrsstrecke zu einer elektrifizierten zweigleisigen S-Bahn-Strecke. Die bereits erfolgte Lärmvorsorge führte zu einer Lärmsanierung ausschließlich von Bahn-km 0,9 bis Bahn-km 1,980 (vgl. Abbildung 23). Die schalltechnische Untersuchung ergab keine Förderfähigkeit für aktive Schallschutzmaßnahmen.



Abbildung 23: Untersuchungsgebiet Sindelfingen; Quelle: openrailwaymap.org

## Walheim

Die Gemeinde Walheim in Baden-Württemberg am Neckar wurde für eine Vorherbefragung ausgewählt. In dieser Ortsdurchfahrt wurden ausschließlich Befragungen zu passiven Schallschutzmaßnahmen durchgeführt. Die schalltechnische Untersuchung ergab eine Förderfähigkeit für aktive Schallschutzmaßnahmen. In einem Bürgerentscheid wurde sich jedoch gegen die aktiven Maßnahmen entschieden. Der Lärmsanierungsabschnitt befindet sich an der Bahn Strecke 4900 von Bahn-km 30,9 bis Bahn-km 33,9 (vgl. Abbildung 24). In diesem Abschnitt sind laut Schalltechnischer Untersuchung 494 Wohneinheiten förderfähig.

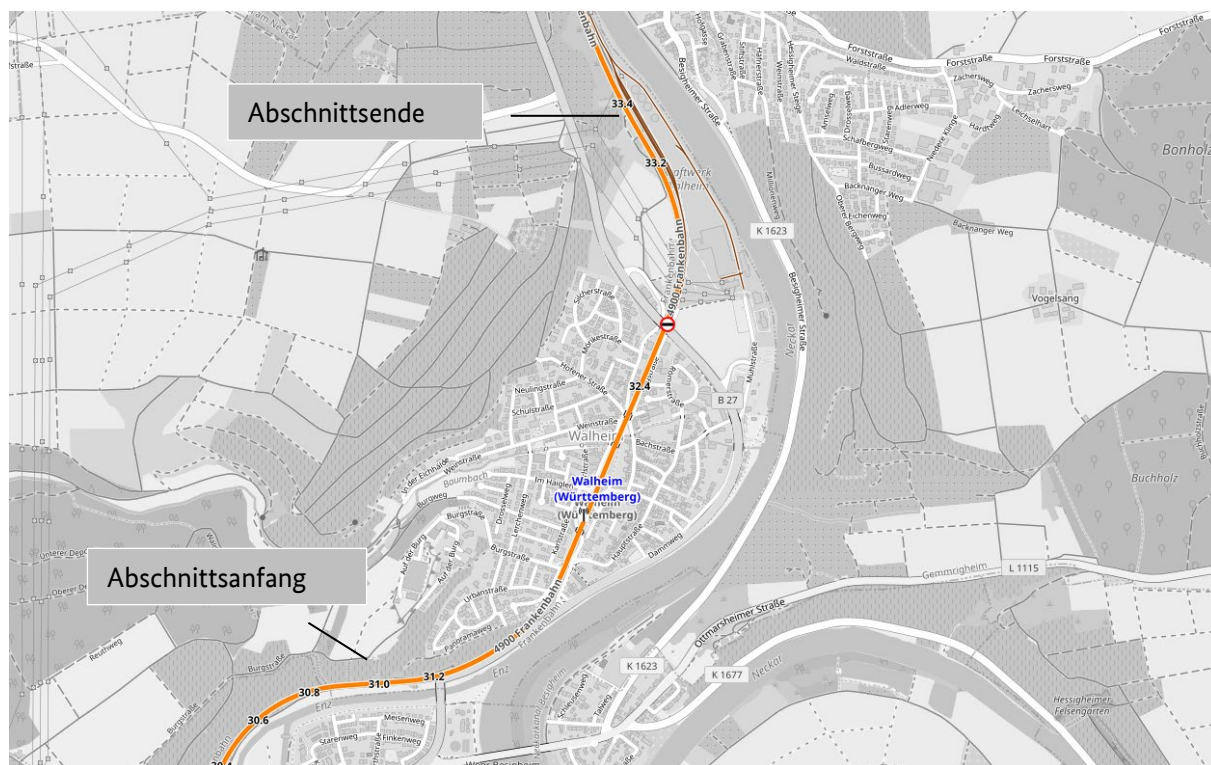


Abbildung 24: Untersuchungsgebiet Walheim; Quelle: openrailwaymap.org

Anhand von Plänen der Untersuchungsgebiete, in denen Lärmschutzmaßnahmen evaluiert werden sollten, wurden exponierte Gebäude, die maximal in dritter Häuserreihe von den Schienenwegen entfernt stehen, eingeschlossen. Um Personenhaushalte zu den Gebäudeadressen zu erhalten, wurden die zuständigen Einwohnermeldeämter angeschrieben und um eine Gruppenmeldeauskunft nach § 46 Bundesmeldegesetz gebeten. Bei Untersuchungsgebieten, in denen der Anfrage nicht nachgekommen wurde, wurden Haushaltsadressen aus öffentlich zugänglichen Telefonbüchern recherchiert. Dies war in den Untersuchungsgebieten Koblenz-Lahnstein und Gröbenzell der Fall. Aufgrund der geringen Gebädeanzahl wurde in allen Untersuchungsgebieten jeder verfügbare Haushalt angeschrieben. In den Untersuchungsgebieten mit etwaiger Förderfähigkeit von passiven Schallschutzmaßnahmen war aufgrund von Datenschutzbestimmungen die Herausgabe der Haushaltsnamen förderfähiger Gebäude an die Forschungsnehmenden durch die Bahn nicht möglich. Daher war es für die Forschungsnehmenden nicht möglich abzuschätzen, bei welchen Haushalten/Gebäuden bereits passive Schallschutzmaßnahmen implementiert wurden bzw. der Prozess dazu angestoßen wurde. Aus diesem Grund wurde in der Befragung eine Filterfrage gestellt, über die eine Einordnung der Befragungsteilnehmenden zum Stand im Förderprozess der passiven Schallschutzmaßnahmen erfolgte (entsprechend wurden die Teilnehmenden bezüglich des Befragungszeitpunkts zu Vorherbefragung, Währendbefragung oder Nachherbefragung zugeordnet).

## 4.1.2 Inhalt der Befragung

Die Auswahl der Befragungsinhalte wurde auf Basis vorhandener und in Lärmwirkungsstudien eingesetzter gängiger Erhebungsinstrumente getroffen (u. a. [28], [29], [30]). Dies mündete in eine Abfrage folgender Konstrukte und Einflussfaktoren:

1. Lärmreaktionen: Lärmbelästigung, Schlafstörungen, Aktivitätenstörungen tagsüber durch Schienenverkehrslärm, insgesamt sowie differenziert nach Zugart und Tageszeit, Lärmbewältigungsmaßnahmen
2. Veränderung: zukünftig erwartete oder eingetretene Veränderung in der Wohnsituation (Verbesserung vs. Verschlechterung), Veränderung von Belästigung und Störung, Geräuschcharakteristik
3. Wahrnehmung und Bewertung der Lärmsanierungsmaßnahme: Profil von Bahnverkehrsgeschäusmerkmalen, Erscheinungsbild, Beurteilung der Wirksamkeit der Maßnahme
4. Kommunikation und Information: Informiertheit, Bewertung der Information und der Eingebundenheit
5. Dispositionen, Einstellungen: Lärmempfindlichkeit, persönliche Einstellung zur Wohngegend, zum Bahnverkehr, wahrgenommenes Lärmschutzmanagement von als verantwortlich für die Bahnlärminderung wahrgenommenen Akteuren;
6. Personenmerkmale: sozio-demographische Merkmale der Befragten.

Die Fragebögen wurden inhaltlich und in ihrem Aufbau an die jeweiligen Untersuchungsgebiete entsprechend der jeweiligen Schallschutzmaßnahmen (Schienenstegdämpfer, Schallschutzwand, passiver Schallschutz) bzw. Vorher- und Nachherbefragungen angepasst. Die Onlineversion der Befragungen wurde mit der Open Source Software LimeSurvey programmiert.

## 4.1.3 Durchführung der Befragung

Die Personen der Stichprobe erhielten per Post ein Anschreiben der ZEUS GmbH mit der Bitte zur Teilnahme an der Studie mit den Zugangsdaten zur Onlinebefragung sowie ein Begleitschreiben des Eisenbahn-Bundesamtes.

In den Untersuchungsgebieten mit geringer Anzahl an Gebäuden bzw. Haushaltsadressen wurde die Möglichkeit angeboten, eine Papierversion des Fragebogens auszufüllen und diese unentgeltlich an die Forschungsnehmenden zurückzuschicken. Diese Möglichkeit wurde in Besigheim, Gröbenzell und Walheim angeboten. In Friedberg wurde aufgrund des niedrigen absoluten Rücklaufs in der ersten Befragung bei der zweiten Befragungswelle ebenfalls eine Papierversion angeboten.

Die Befragungen wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten von Juli 2019 bis April 2020 durchgeführt.

Tabelle 3 zeigt detailliert die Befragungszeiträume pro Untersuchungsgebiet. Bei der Vorherbefragung wurden die ausgewählten Haushalte angeschrieben, bevor die Implementierung der Schallschutzmaßnahme begonnen wurde. Bei der Nachherbefragung wurden entsprechend Haushalte angeschrieben, nachdem die Umsetzung der Implementierung von Schallschutzmaßnahmen abgeschlossen war. Die Kategorie der Währendbefragung ergab sich lediglich in Gebieten, in denen passive Schallschutzmaßnahmen förderfähig waren, wenn der Implementierungs-Prozess (z. B. schalltechnische Untersuchung vor Ort) angestoßen wurde und eine Implementierung noch nicht abgeschlossen war. Es wurde jeweils eine unter der Adresse gemeldet Person angeschrieben. Dabei konnte es sich um Eigentümer/Eigentümerin oder Mieter/Mieterin handeln. Um in jedem Fall die Wirkung der Maßnahme erfassen zu können, wurde die unter der Adresse lebende Person befragt, wengleich einige Informationen zur Förderung der passiven Schallschutzmaßnahmen nur dem Eigentümer bzw. der Eigentümerin vorliegen.



Im ursprünglichen Konzept war vorgesehen, Erhebungen vor und nach Maßnahmeneinführung durchzuführen. Aufgrund der ausgewählten Gebiete, der teils unvollständigen Informationen zum Fortschritt in der Maßnahmenumsetzung und der zeitlichen Limitierung des Projekts konnte eine klassische Vorher-Nachher-Untersuchung in keinem der Untersuchungsgebiete realisiert werden.

TABELLE 3: BEFRAGUNGSZEITRÄUME IN DEN UNTERSUCHUNGSGBIETEN

Schallschutzmaßnahme	Untersuchungsgebiet	Zeitraum der Befragung	Befragungszeitpunkt
<b>ASS: Schienenstegdämpfer</b>	Koblenz-Lahnstein	17.01.2020 – 31.01.2020	vorher
<b>ASS: Schienenstegdämpfer</b>	Mittelrheintal 1. Befragungswelle	20.07.2019 – 08.08.2019	nachher (direkt nach Implementierung)
<b>ASS: Schienenstegdämpfer</b>	Mittelrheintal 2. Befragungswelle	01.12.2019 – 21.12.2019	nachher (3 Monate nach Implementierung)
<b>ASS: Schallschutzwand</b>	Friedberg 1. Befragungswelle	15.08.2019 – 15.09.2019	nachher (direkt nach Fertigstellung)
<b>ASS: Schallschutzwand</b>	Friedberg 2. Befragungswelle	01.12.2019 – 21.12.2019	nachher (4 Monate nach Fertigstellung)
<b>ASS: Schallschutzwand</b>	Besigheim	01.12.2019 – 21.12.2019	Vorherbefragung
<b>ASS: Schallschutzwand (Gabione)</b>	Gröbenzell	27.03.2020 – 08.04.2020	nachher (2 Jahre nach Fertigstellung)
<b>PSS</b>	Sindelfingen	05.02.2020 – 29.02.2020	vorher / während / nachher
<b>PSS</b>	Walheim	05.02.2020 – 29.02.2020	vorher / während / nachher
<b>PSS</b>	Fulda	05.02.2020 – 29.02.2020	vorher / während / nachher

ASS: Aktiver Schallschutz, PSS: Passiver Schallschutz.

## 4.1.4 Beschreibung der Stichprobe

Tabelle 4 zeigt eine Übersicht über die Anzahl der Teilnehmenden pro Untersuchungsgebiet und Schallschutzmaßnahme.

TABELLE 4: ÜBERSICHT ÜBER DIE ANZAHL DER TEILNEHMENDEN JE UNTERSUCHUNGSGEBIET UND BEFRAGUNGSZEITPUNKT

Untersuchungs- gebiet	Maß- nahme	Befragungs- zeitpunkt	N ver- sende- ter Briefe	N	einma- lig be- fragt	wie- der- holt be- fragt	Summe der Teil- nahmen
<b>Mittelrheintal (MRT) (1. Befragung)</b>	ASS-SSD	nachher (Befragung I)	1.567	163	163		
<b>Mittelrheintal (MRT) (2. Befragung)</b>	ASS-SSD	nachher (Befragung II)	1.567	95	46	49	287
<b>Koblenz/Lahnstein</b>	ASS-SSD	vorher	492	29	29		
<b>Friedberg (1. Befragung)</b>	ASS-SSW: klassisch	nachher (Befragung I)	564	20	20		
<b>Friedberg (2. Befragung)</b>	ASS-SSW: klassisch	nachher (Befragung II)	564	27	22	5	63
<b>Besigheim</b>	ASS-SSW: klassisch	vorher	39	4	4		
<b>Gröbenzell</b>	ASS-SSW: Gabione	nachher	75	12	12		
<b>Sindelfingen</b>	PSS	vorher	135	5	5		
<b>Walheim</b>	PSS	vorher/während	193	10	10		138
<b>Fulda</b>	PSS	vorher/wäh- rend/ nachher	1.876	123	123		
<b>Summe</b>			<b>7.072</b>	<b>488</b>	<b>434</b>	<b>54</b>	<b>488</b>

Erläuterungen: ASS: Aktiver Schallschutz, SSD: Schienenstegdämpfer, SSW: Schallschutzwand, PSS: Passiver Schallschutz.

## 4.1.5 Statistische Verfahren

Neben der deskriptiven Statistik zur Beschreibung der Stichprobe anhand soziodemographischer Variablen wurden Gruppenvergleiche zwischen den Untersuchungsgebieten durchgeführt, um etwaige Unterschiede in der Soziodemographie zu analysieren. Hierzu wurde der Chi-Quadrat-Test ( $\chi^2$ -Test) zum Vergleich von Stichproben auf kategorialen Variablen verwendet. Der F-Test (Varianzanalyse bzw. *analysis of variance [ANOVA]*) wurde zum Vergleich von Stichproben auf intervallskalierten Variablen eingesetzt, beispielsweise zum Vergleich von Mittelwerten wie dem Durchschnittsalter. Für Vergleiche zwischen den Gruppen von Schallschutzmaßnahmen wurden ebenfalls Mittelwertvergleiche durchgeführt, diese wurden ebenfalls mittels F-Test im Rahmen einer ANOVA analysiert. Aufgrund der geringen Stichprobengrößen waren weiterführende interferenzstatistische Auswertungen nicht möglich. Sofern bei der Ergebnisdarstellung von statistisch signifikanten Ergebnissen (z. B. Gruppenunterschieden) gesprochen wird, wird jeweils die Prüfgröße angegeben, mit der die statistische Signifikanz getestet wurde (F oder  $\chi^2$ ), die Freiheitsgrade (Anzahl frei variierender Werte in der Berechnungsformel bzw. der unabhängigen Informationen) sowie die Irrtumswahrscheinlichkeit (Wahrscheinlichkeit der Ablehnung der Nullhypothese, obwohl diese richtig ist).

Bei Blöcken aus zusammengehörigen Fragen, die gemeinsam ein Konstrukt erfassen (Skalen), wurde überprüft, wie die Übereinstimmung zwischen den Fragen ist. Dabei spricht man von interner Konsistenz der Skala. Diese wird mittels des Reliabilitätsmaßes *Cronbachs Alpha* gemessen. *Cronbachs Alpha* kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Je höher der Wert, desto besser ist die interne Konsistenz; also desto höher ist die Übereinstimmung zwischen den Fragen. *Cronbachs Alpha* zeigt damit an, wie gut die Skala ein zugrundeliegendes Konstrukt misst, d. h. wie reliabel sie ist.

Zusammenhangsmaße (Korrelationsmaße) wurden berechnet, um die Stärke einer Beziehung zwischen zwei Variablen abzuschätzen. Der Koeffizient der Produkt-Moment-Korrelation  $r$  kann sich zwischen +1 und -1 bewegen. Je näher sich der Wert von  $r$  an dem Betrag von 1 befindet, desto enger ist der positive (Richtung +1) bzw. negative (Richtung -1) Zusammenhang. Ein positiver Zusammenhang bedeutet, dass mit steigendem Wert von Variable 1 der Wert von Variable 2 steigt. Ein negativer Zusammenhang bedeutet, dass sich mit steigendem Wert von Variable 1 ein sinkender Wert von Variable 2 zeigt. Ist der Wert nahe an 0 (Null), so spricht man davon, dass kaum (oder kein) Zusammenhang besteht. Die Korrelation zweier Variablen sagt jedoch nichts über die Kausalität aus, also ob durch Variable 1 die Steigerung von Variable 2 bedingt wird oder umgekehrt.

## 4.2 Ergebnisse

### 4.2.1 Stichproben in den Untersuchungsgebieten

Tabelle 5 und Tabelle 6 zeigen die Verteilung der Stichproben in den Untersuchungsgebieten hinsichtlich soziodemographischer Merkmale. Die Größe der Stichproben unterscheidet sich deutlich zwischen den Gebieten, was u. a. darauf zurückzuführen ist, dass sich sowohl die Untersuchungsgebiete in ihrer absoluten Größe als auch in der Anzahl der in Frage kommenden exponierten Gebäude unterschieden und damit unterschiedliche Voraussetzungen für die Stichprobenauswahl vorlagen. Die Gesamtstichprobe setzt sich zusammen aus Befragten in Untersuchungsgebieten in Baden-Württemberg (Besigheim, Sindelfingen, Walheim), Bayern (Gröbenzell), Hessen (Friedberg, Fulda), Rheinland-Pfalz (Sankt Goarshausen, Filsen, Kestert, Kamp-Bornhofen – zusammengefasst als Untersuchungsgebiet Mittelrheintal, Koblenz/Lahnstein). Im Durchschnitt lag in der Gesamtstichprobe ( $N = 488$ ) das Alter der Teilnehmenden bei 52,0 Jahren ( $SD = 18,1$ ).

In der Verteilung der Geschlechter konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Stichproben der Untersuchungsgebiete festgestellt werden ( $\chi^2(9) = 13.78, p = .130, Cramers V = .17$ ). Weiterhin zeigten sich Unterschiede in einigen anderen soziodemographischen Merkmalen. Die Stichproben unterschieden sich hinsichtlich des Alters ( $F(9, 468) = 10,829, p < .001, \eta^2 = 0,172$ ), dem Einkommen ( $\chi^2(72) = 184.479, p < .001, Cramers V = .22$ ) und in der Schulbildung ( $\chi^2(63) = 91.11, p < .05, Cramers V = .165$ ). Ebenfalls unterschieden sich die Stichproben im Eigentumsstatus ( $\chi^2(18) = 181.23, p < .001, Cramers V = .43$ ), beispielsweise mit mehr Teilnehmenden, die in einem Eigenheim wohnten im Mittelrheintal im Vergleich zu Fulda, wo die Mehrheit der Teilnehmenden zur Miete wohnte. Auch unterschieden sich die Stichproben bezüglich der Art der bewohnten Gebäude ( $\chi^2(45) = 200.05, p < .001, Cramers V = .29$ ). So wohnten mehr Teilnehmende der Gebiete Friedberg und Mittelrheintal in Einfamilienhäusern, in anderen Gebieten wie Fulda dagegen mehr Teilnehmende in Mehrfamilienhäusern. Ebenfalls unterschied sich die Wohndauer der Stichproben zwischen den Untersuchungsgebieten ( $F(9,467) = 6,561, p < .001, \eta^2 = .112$ ).

Zwischen den Untersuchungsgebieten wurden außerdem Unterschiede in der Zufriedenheit mit der Wohnumgebung ( $F(9,471) = 4,97, p < .001, \eta^2 = .087$ ) sowie der Zufriedenheit mit dem Haus/der Wohnung ( $F(9,463) = 2,686, p < .01, \eta^2 = .050$ ) festgestellt, wobei die Zufriedenheit mit der Wohnumgebung in Koblenz/Lahnstein und Gröbenzell höher ausfiel als beispielsweise in Friedberg.

Die Stichprobengröße variiert stark zwischen den Untersuchungsgebieten. Aus Gründen der Vollständigkeit werden auch Untersuchungsgebiete mit geringen Teilnehmendenzahlen (< 10 Teilnehmende) in den Abbildungen dargestellt. Für die Interpretation der Ergebnisse ist daher Folgendes zu beachten: Die Darstellung der Mittelwerte dient der deskriptiven Einordnung der Ergebnisse und muss unter Einbezug der jeweiligen Stichprobengröße interpretiert werden. Mittelwerte in den Untersuchungsgebieten mit kleiner Anzahl an Teilnehmenden gehen zumeist mit einer größeren Streuung der einzelnen Antworten der Untersuchungspersonen einher, die sich in der Größe des Standardfehlers (abgebildete Fehlerbalken) zeigt.

## 4.2.2 Veränderungserwartung und Veränderungseinschätzung

Je nach Stand der Implementierung von Maßnahmen wurde in den Untersuchungsgebieten abgefragt, ob den Befragten zukünftige Veränderungen im Eisenbahnverkehr bekannt seien (Vorherbefragungen in Besigheim und Koblenz/Lahnstein) oder ob in den vergangenen Monaten Veränderungen im Eisenbahnverkehr wahrgenommen wurden (Nachherbefragungen im Mittelrheintal, in Friedberg und in Gröbenzell).

### 4.2.2.1 Veränderungserwartung

Ein Fragenblock zu zukünftigen Veränderungen wurde konzipiert, um Einblick in die Veränderungserwartungen zu erhalten und damit etwaige Informationen darüber, wie sehr die Befragten über die zukünftige Implementierung von Schallschutzmaßnahmen im Voraus informiert waren. Nach einer Veränderungserwartung wurde in den Untersuchungsgebieten gefragt, in denen noch keine Maßnahme implementiert, sondern bisher nur geplant wurde: Besigheim und Koblenz-Lahnstein. Tabelle 23 zeigt für diese Fragen die Beantwortung zu Veränderungserwartungen (siehe Anhang). In Besigheim wussten zwei der vier befragten Personen, dass eine Lärmschutzwand gebaut wird, in Koblenz/Lahnstein war keinem der Befragten bekannt, dass die Lärmschutzmaßnahme Schienenstegdämpfer geplant ist. Befragt nach den Auswirkungen gaben nur 7 von 29 Befragten in Koblenz/Lahnstein an, dass sie mit einer Verbesserung der Lärmsituation rechnen; überwiegend wird mit keiner Veränderung der Lärmsituation gerechnet. 11 von 29 Befragten rechnen sogar mit einer Verschlechterung der Lärmsituation.

TABELLE 5: SOZIODEMOGRAPHISCHE MERKMALE IN DEN STICHPROBEN DER UNTERSUCHUNGSGEBIETE

Schallschutzmaßnahme	Aktiver Schallschutz: Schienenstegdämpfer			Aktiver Schallschutz: Schallschutzwand				Passiver Schallschutz				Gesamt N = 488
	MRT 1. Befragung n = 163	MRT 2. Befragung n = 95	Koblentz/ Lahnstein n = 29	Besigheim n = 4	Friedberg 1. Befragung n = 20	Friedberg 2. Befragung n = 27	Gröbenzell (Gabbione) n = 12	Sindelfingen n = 5	Walheim n = 10	Fulda n = 123	Gesamt N = 488	
Untersuchungsgebiet	55,4%	64,5%	59,3%	75,0%	60,0%	62,5%	63,6%	40,0%	20,0%	47,1%	55,3%	
Geschlecht	44,6%	35,5%	40,7%	25,0%	40,0%	37,5%	36,4%	60,0%	80,0%	52,9%	44,7%	
Gesamt N	157	93	27	4	20	24	11	5	10	121	472	
Alter	55,8(15,9)	55,0(16,2)	67,6(12,0)	49,5(16,5)	41,4(17,0)	53,6(17,4)	59,6(9,6)	59,6(21,9)	41,9(14,4)	41,9(18,8)	52,0(18,1)	
Altersgruppen bis 29 Jahre	5,6%	7,4%	0,0%	25,0%	35,0%	14,3%	0,0%	0,0%	20,0%	38,3%	15,7%	
30-39 Jahre	13,0%	12,6%	0,0%	0,0%	20,0%	4,8%	0,0%	20,0%	40,0%	16,7%	13,2%	
40-49 Jahre	13,6%	14,7%	6,9%	0,0%	10,0%	14,3%	16,7%	20,0%	10,0%	12,5%	12,8%	
50-59 Jahre	28,4%	18,9%	17,2%	50,0%	25,0%	23,8%	41,7%	20,0%	0,0%	8,3%	20,3%	
60-69 Jahre	20,4%	29,5%	34,5%	25,0%	0,0%	28,6%	25,0%	0,0%	30,0%	13,3%	20,9%	
70-79 Jahre	13,6%	12,6%	27,6%	0,0%	10,0%	9,5%	16,7%	0,0%	0,0%	7,5%	12,1%	
80 Jahre und älter	5,6%	4,2%	13,8%	0,0%	0,0%	4,8%	0,0%	40,0%	0,0%	3,3%	5,0%	
Gesamt N	162	95	29	4	20	21	12	5	10	120	478	
Schulbildung	24,4%	23,2%	24,1%	66,7%	5,0%	13,0%	8,3%	40,0%	10,0%	8,2%	18,4%	
Hauptschulabschluss	31,9%	25,3%	20,7%	0,0%	15,0%	26,1%	8,3%	40,0%	50,0%	18,9%	25,3%	
Realschulabschluss	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,6%	0,4%	
Abschluss der Polytechnischen Oberschule	18,1%	30,5%	13,8%	0,0%	15,0%	21,7%	25,0%	0,0%	20,0%	21,3%	21,1%	
Fachhochschul-reife	24,4%	20,0%	41,4%	33,3%	55,0%	30,4%	58,3%	20,0%	20,0%	46,7%	32,6%	
Abitur	0,6%	1,1%	0,0%	0,0%	10,0%	4,3%	0,0%	0,0%	0,0%	1,6%	1,5%	
anderer Schulabschluss	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,8%	0,4%	
Schule beendet ohne Abschluss	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,8%	0,4%	
Schulabschluss noch keinen Schulabschluss	160	95	29	3	20	23	12	5	10	122	479	

N = Anzahl, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung. In der Kategorie Hauptschulabschluss wird Volksschulabschluss und gleichwertige Abschlüsse inbegriffen. Die Kategorie Realschulabschluss beinhaltet weiterhin Mittlere Reife und gleichwertige Abschlüsse.

TABELLE 6: SOZIODEMOGRAPHISCHE MERKMALE IN DEN STICHPROBEN DER UNTERSUCHUNGSGEBIETE (FORTSETZUNG VON TABELLE 5)

Schallschutzmaßnahme	Aktiver Schallschutz: Schienenstedämpfer		Aktiver Schallschutz: Schallschutzwand				Passiver Schallschutz			Gesamt N = 488	
	MRT 1. Befragung n = 163	MRT 2. Befragung n = 95	Koblenz/ Lahnstein n = 29	Besigheim n = 4	Friedberg 1. Befragung n = 20	Friedberg 2. Befragung n = 27	Gröbenzell (Gabione) n = 12	Sindelfingen n = 5	Walheim n = 10		Fulda n = 123
Untersuchungsgebiet											
Einkommen	7,3%	4,2%	6,9%	25,0%	15,0%	13,0%	0,0%	20,0%	0,0%	29,2%	12,8%
bis unter 1250 €	6,7%	7,4%	0,0%	0,0%	0,0%	4,3%	0,0%	0,0%	20,0%	11,7%	7,3%
1250 bis unter 1750 €	12,0%	9,5%	3,4%	0,0%	5,0%	30,4%	8,3%	0,0%	10,0%	5,8%	9,6%
1750 bis unter 2250 €	16,0%	17,9%	10,3%	0,0%	20,0%	21,7%	16,7%	40,0%	10,0%	14,2%	16,0%
2250 bis unter 3000 €	22,0%	24,2%	27,6%	0,0%	15,0%	0,0%	25,0%	0,0%	10,0%	13,3%	18,6%
3000 bis unter 4000 €	12,0%	12,6%	6,9%	50,0%	10,0%	0,0%	8,3%	20,0%	30,0%	8,3%	10,9%
4000 bis 5000 €	8,7%	8,4%	31,0%	0,0%	20,0%	21,7%	33,3%	0,0%	10,0%	5,0%	10,7%
5000 € und mehr	15,3%	1,1%	13,8%	0,0%	15,0%	0,0%	8,3%	20,0%	10,0%	11,7%	10,3%
weiß nicht	0,0%	14,7%	0,0%	25,0%	0,0%	8,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,8%	3,8%
keine Angabe	150	95	29	4	20	23	12	5	10	120	468
Gesamt N	85,9%	83,2%	65,5%	50,0%	45,0%	63,0%	83,3%	60,0%	50,0%	20,3%	63,3%
Eigentum	13,5%	14,7%	34,5%	50,0%	55,0%	33,3%	8,3%	20,0%	50,0%	78,9%	35,2%
Miete	0,6%	2,1%	0,0%	0,0%	0,0%	3,7%	8,3%	20,0%	0,0%	0,8%	1,4%
keine Angabe	163	95	29	4	20	27	12	5	10	123	488
Gesamt N	63,8%	69,5%	17,2%	75,0%	20,0%	44,4%	25,0%	0,0%	20,0%	9,8%	43,2%
Einfamilienhaus	5,5%	5,3%	0,0%	0,0%	5,0%	0,0%	0,0%	0,0%	10,0%	5,7%	4,7%
Reihenendhaus	2,5%	0,0%	3,4%	0,0%	0,0%	0,0%	8,3%	0,0%	0,0%	6,5%	2,9%
Reihenmittelhaus	6,1%	2,1%	6,9%	0,0%	20,0%	14,8%	33,3%	0,0%	20,0%	4,1%	6,8%
Doppelhaushälfte	22,1%	21,1%	72,4%	25,0%	55,0%	40,7%	33,3%	80,0%	50,0%	71,5%	41,2%
Wohnung	0,0%	2,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%	0,0%	2,4%	1,2%
keine Angabe	163	95	29	4	20	27	12	5	10	123	488
Gesamt N	24,4(18,3)	19,3(16,1)	29,0(16,5)	24,0(14,7)	14,9(21,4)	19,5(23,0)	21,3(12,2)	37,0(23,3)	16,0(12,7)	11,1(13,9)	19,6(17,6)
M(SD)	160	94	29	4	20	25	12	4	10	120	478
Gesamt N	3,4(1,0)	3,5(0,9)	3,9(0,9)	4(0,8)	3,3(1,3)	3,2(1,0)	4,3(0,8)	1,6(0,5)	4,1(0,6)	3,5(1,0)	3,5(1,0)
Zufriedenheit mit...Wohnung	159	95	29	4	20	27	12	5	9	122	482
Gesamt N	4,0(0,9)	4,0(0,9)	4,0(1,0)	4,3(0,5)	3,9(1,1)	3,8(1,1)	4,4(0,8)	3,8(0,5)	3,8(0,6)	3,6(0,9)	3,9(0,9)
...Wohnung bzw. Haus	160	93	28	4	20	23	12	4	10	120	474
Gesamt N	*ANOVA: Unterschiede zwischen den Gebieten. N = Anzahl, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung. Zufriedenheitsskala von (1) nicht, (2) wenig, (3) mittelmäßig, (4) ziemlich, (5) sehr zufrieden.										

### 4.2.2.2 Wahrgenommene Veränderung

In den Untersuchungsgebieten mit bereits implementierten Schallschutzmaßnahmen wurde in der Befragung nach wahrgenommenen Veränderungen im Eisenbahnverkehr gefragt. Die Frage wurde bewusst offen formuliert („Wenn Sie einmal an den Eisenbahnverkehr in den letzten 3 bzw. 4 Monaten denken: Haben Sie hier eine Veränderung wahrgenommen?“), um die Befragten nicht gleich auf die Schallschutzmaßnahme aufmerksam zu machen und über eine Nachfrage zu klären, welche Veränderung wahrgenommen wurde und ob die Befragten dabei von sich aus die Schallschutzmaßnahme erwähnen. Diese wurde in den Untersuchungsgebieten Mittelrheintal (zur Maßnahme „Schienenstegdämpfer“), Friedberg (Schallschutzwand) und Gröbenzell (Gabionenwand) durchgeführt. Da die Gabionenwand in Gröbenzell bereits 2015 gebaut und im Jahr 2018 fertiggestellt wurde, wurde die Eingangsfrage, ob in den vergangenen Monaten eine Veränderung wahrgenommen wurde, nicht gestellt, da diese Information hier obsolet ist.

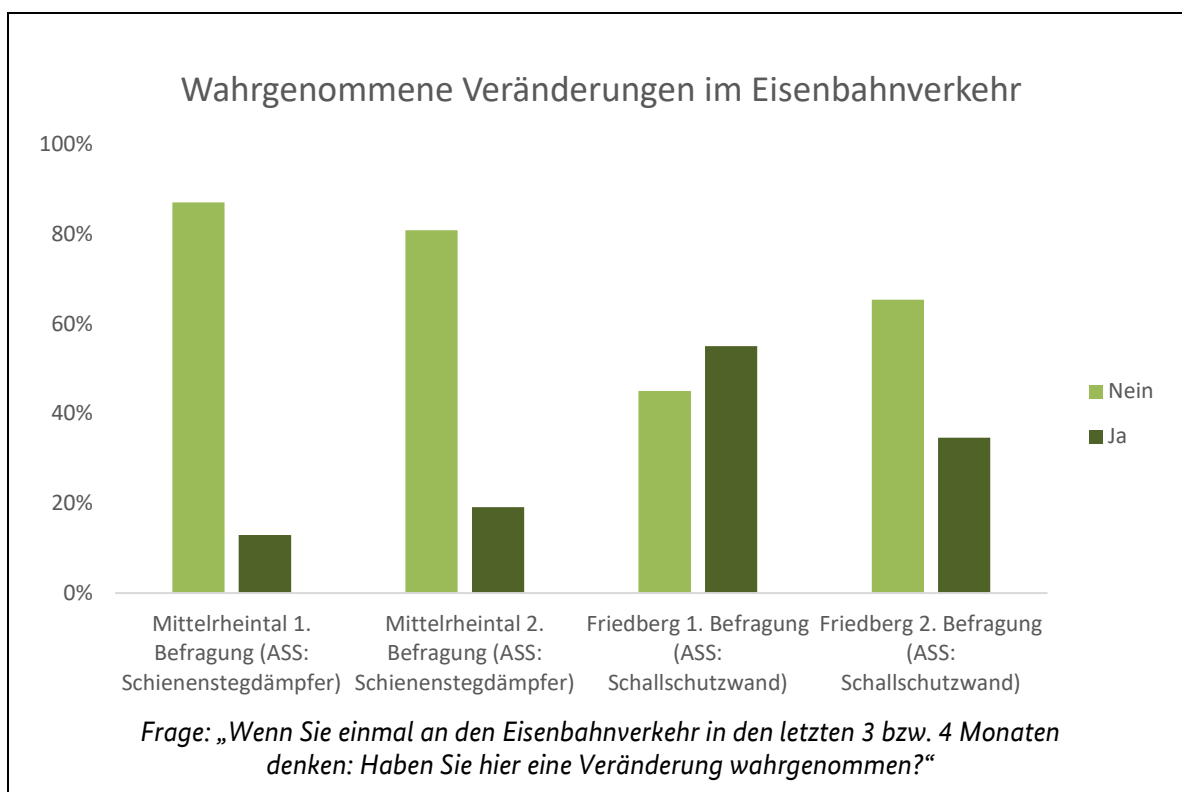


Abbildung 25: Wahrnehmung von Veränderungen bezüglich des Eisenbahnverkehrs in den letzten 3 bzw. 4 Monaten

Der Großteil der Befragten im Mittelrheintal bemerkte keine Veränderung im Eisenbahnverkehr, in Friedberg waren es etwa die Hälfte bzw. ein Drittel der Befragten (Abbildung 25). Diejenigen die angaben, eine Veränderung wahrgenommen zu haben, wurden darauffolgend danach gefragt, was sich geändert habe. Die Beantwortung erfolgte anhand von offenen Angaben ohne vorgegebene Antwortmöglichkeiten.

Tabelle 7 zeigt eine zusammengefasste Übersicht über die genannten wahrgenommenen Veränderungen. Dabei zeigte sich im Mittelrheintal (Schienenstegdämpfer), dass vor allem wahrgenommen wurde, dass mehr (Güter-) Züge auf der anliegenden Strecke verkehrten. Weiterhin wurde von einigen Befragten genannt, dass sich der Lärm reduziert habe. Außerdem wurde ein Anstieg an Erschütterungen an Gebäuden genannt, der u. a. nach Einschätzung der Anwohnenden auf beschädigte Wagen/Lokomotiven

mit Schäden oder Flachstellen an Rädern zurückgeführt wurde. Es wurde zudem angemerkt, dass keine regelmäßige Wartung von Schienen und Gleisbett durchgeführt würde. Die Geräuschkulisse wurde mehrfach mit einem „Dröhnen“, „Quietschen“ und „Rattern“ beschrieben.

In Friedberg (Schallschutzwand) wurde vor allem angegeben, dass sich der Lärm reduziert habe. Die Geräusche seien weniger laut. Eine Angabe bezieht sich jedoch darauf, dass bei Ostwind keine Geräuschminderung bemerkbar war. Zudem wurde angegeben, dass stärkere Erschütterungen wahrgenommen wurden sowie ein erhöhtes „dumpfes Wummern“. Es war den Forschungsnehmenden vorliegend nicht möglich, die offenen Angaben zur wahrgenommenen Veränderung zu prüfen, also beispielsweise ob tatsächlich ein Anstieg des Güterverkehrs zu verzeichnen ist.

TABELLE 7: ANGABEN ZU WAHRGENOMMENEN VERÄNDERUNGEN IM EISENBAHNVERKEHR

Mittelrheintal (Schienenstegdämpfer)	Anzahl Nennungen
mehr (Güter-) Züge	18
weniger Lärm/leisere Züge	10
stärkere Erschütterungen	3
Züge werden länger	2
spätere Durchfahrtszeiten in der Nacht	1

Friedberg (Schallschutzwand)	Anzahl Nennungen
leiser	14
mehr Vibrationen	4
stärkere Erschütterungen	1
mehr Güterzüge	1

Wurde danach gefragt, wann die Änderung eingetreten sind, so machte etwa die Hälfte der befragten Personen eine korrekte Zeitangabe (Tabelle 24, siehe Anhang). Abbildung 26 zeigt die Analyse der Wahrnehmung von Veränderungen in der Lautstärke der Eisenbahngeräusche. So gaben im Mittelrheintal (Schienenstegdämpfer) die überwiegende Anzahl der Befragten an, keine Veränderung festzustellen. In Friedberg (Schallschutzwand) nahm in der ersten Befragung die Hälfte der Befragten eine Geräuschminderung wahr; auch in der 2. Befragung sind es noch etwa 40 Prozent. Die deutlichste Wahrnehmung von Geräuschminderung findet sich in Gröbenzell (Gabionenwand).

Weiterhin wurde gefragt, ob sich außer der Lautstärke noch etwas am Vorbeifahrgeräusch der Eisenbahnen verändert habe (siehe Abbildung 27).



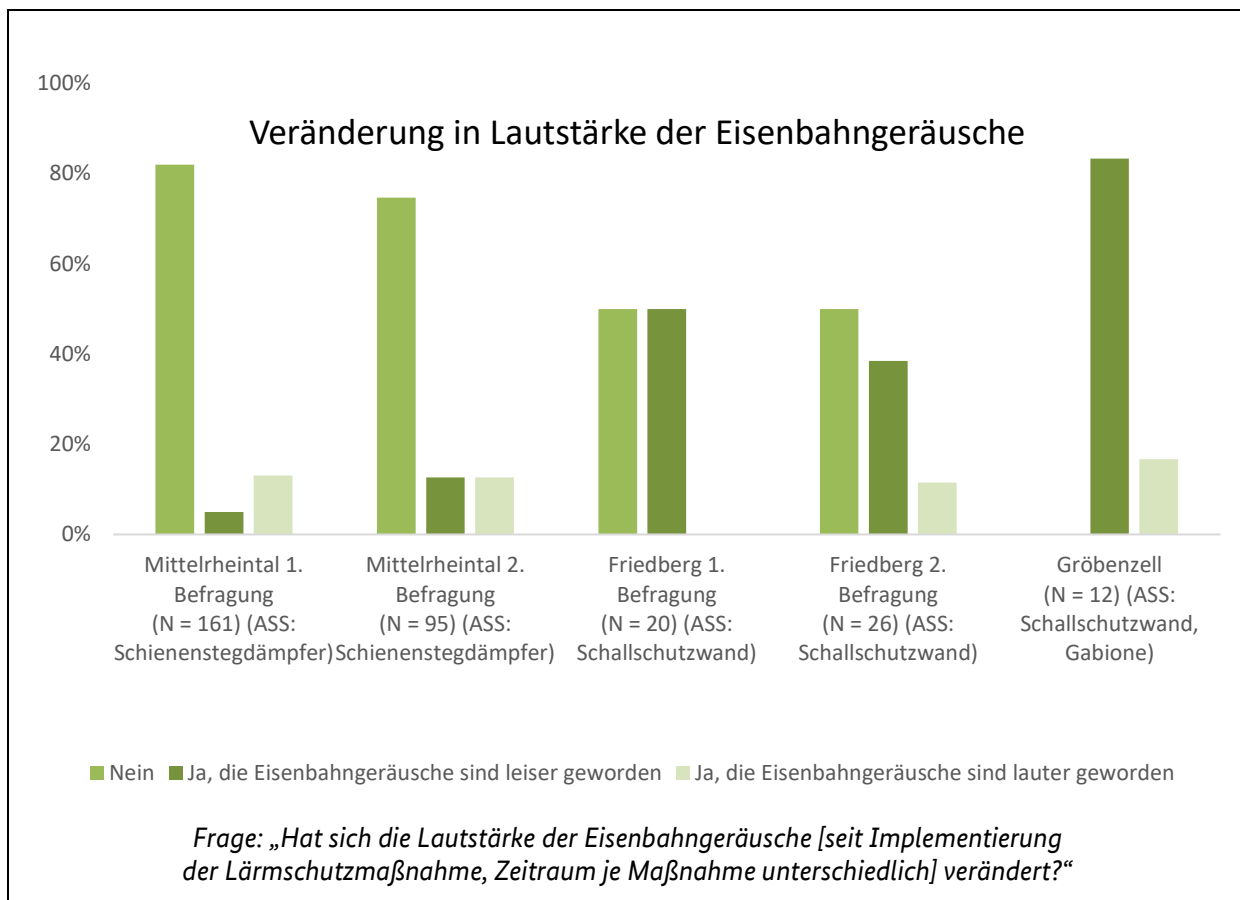


Abbildung 26: Wahrnehmung der Veränderung in der Lautstärke der Eisenbahngeräusche seit Implementierung der Lärmschutzmaßnahme (der Zeitraum variiert mit dem Untersuchungsgebiet)

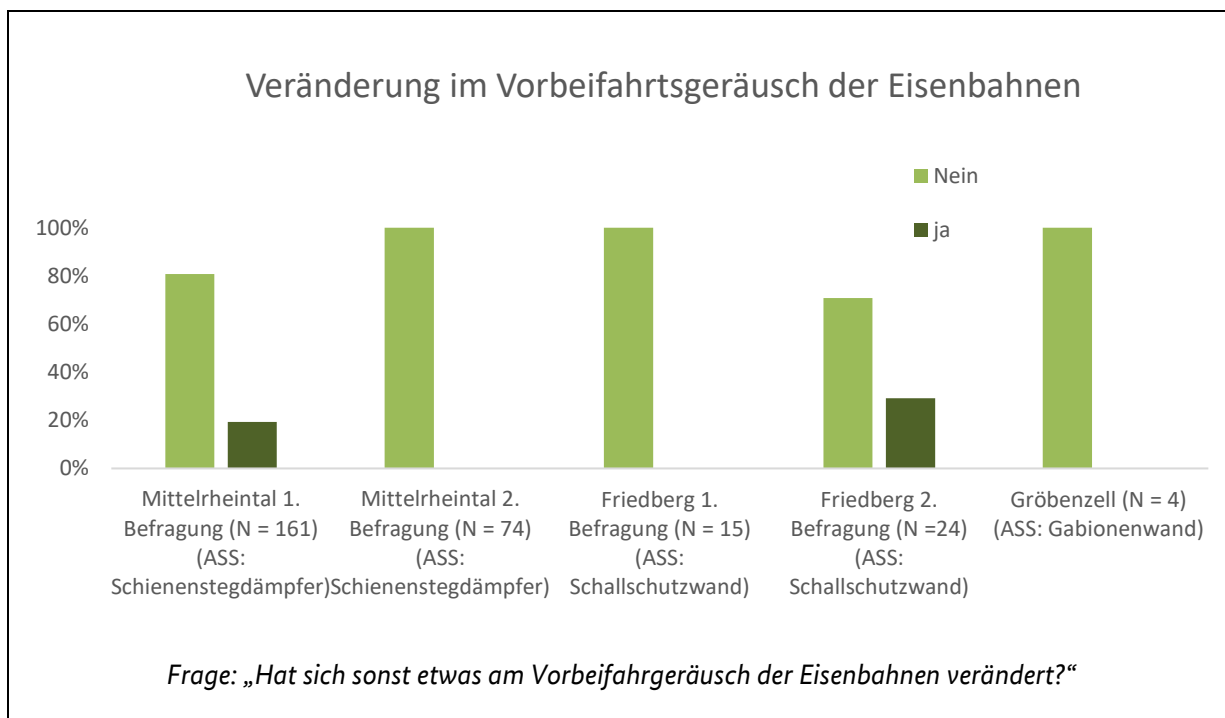


Abbildung 27: Zustimmung bzw. Ablehnung zur Frage, ob sich am Vorbeifahrgeräusch der Eisenbahnen etwas verändert habe

Die Mehrheit der Befragten gab auch hier an, dass sich nichts am Vorbeifahrgeräusch verändert habe (Abbildung 27). Für diejenigen Befragten, die eine Veränderung im Vorbeifahrgeräusch wahrgenommen haben, gab es anschließend die Möglichkeit anzugeben, was sich verändert habe. Eine Übersicht der Angaben mit Anzahl der Nennungen findet sich in Tabelle 25 (siehe Anhang). Diese bedingten Antworten stammen von einer geringen Anzahl der Teilnehmenden, die überhaupt eine Veränderung im Vorbeifahrgeräusch angibt. Im Folgenden werden die Antworten beschrieben.

Im Mittelrheintal (Schienenstegdämpfer) wurde darauf am häufigsten angegeben, dass Vorbeifahrten leiser geworden seien. Zur Begründung wurden vor allem leisere Personenzüge und Regionalbahnen genannt, außerdem Flüsterbremsen sowie dass vor allem Züge mit neueren Waggons leiser seien. Auch eine Geschwindigkeitsreduzierung wurde mit einer Verminderung der Lautstärke von Zügen in Verbindung gebracht. Zudem wurde angegeben, dass sich die Geräuschcharakteristik verändert habe. So wurde benannt, dass Vorbeifahrten weniger schrill seien, weniger kreischende Bremsen zu hören seien und die Geräusche weniger blechern oder ratternd seien. Allerdings gibt es auch Angaben, die eine Erhöhung von Quietschgeräuschen nannten.

In Friedberg (Schallschutzwand) wurde ebenfalls von denjenigen Befragten, die eine Veränderung im Vorbeifahrgeräusch wahrgenommen haben, angegeben, dass Vorbeifahrten leiser geworden seien. Darüber hinaus wurde als veränderte Geräuschcharakteristik angegeben, dass Geräusche dumpfer seien, aber auch mehr Bremsvorgänge zu hören seien. In Gröbenzell (Gabionenwand) wurde ebenfalls eine veränderte Geräuschcharakteristik benannt. Konkret wurden weniger quietschende Bremsen und weniger schrille Geräusche benannt, jedoch auch eine erhöhte Unstetigkeit durch die Gabionenwand.

Zuletzt wurde bezogen auf etwaige Veränderungen gefragt, ob sich die Wohnqualität verändert habe. Eine deutliche Verbesserung zeigte sich nur in Friedberg und Gröbenzell, wobei die Anzahl der Nennungen hier insgesamt sehr gering war (Abbildung 28).

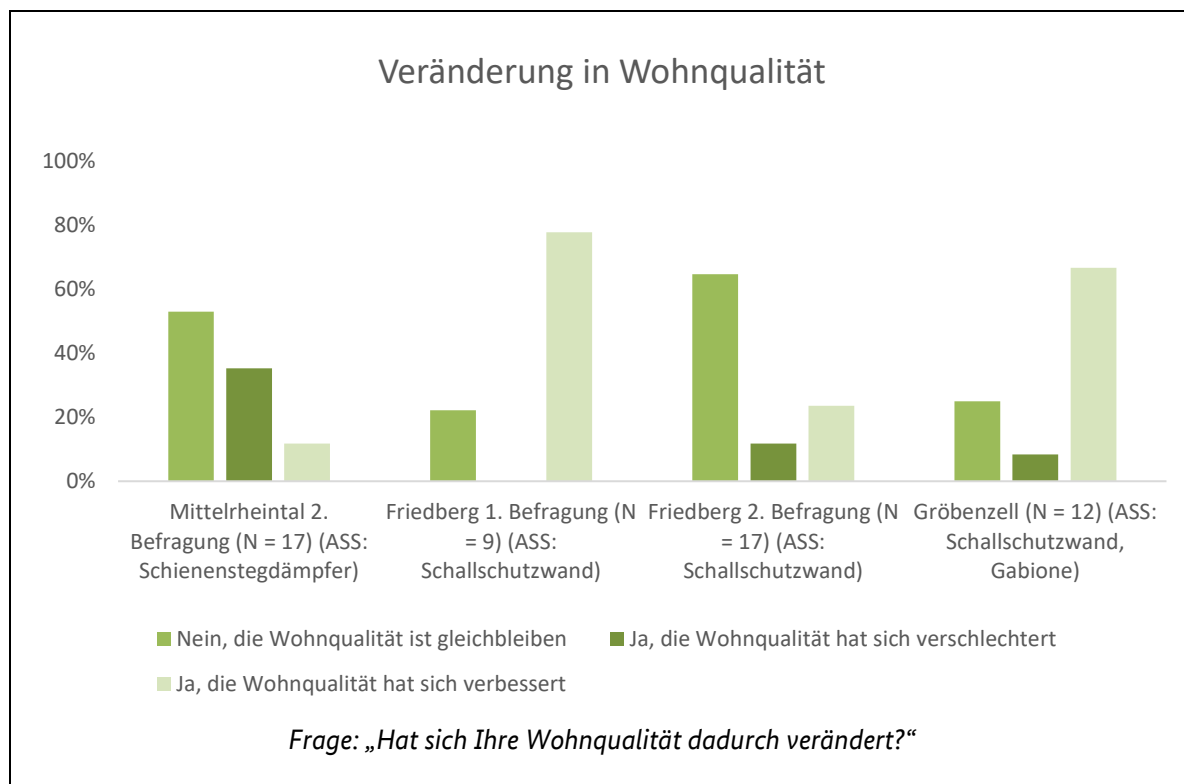


Abbildung 28: Einschätzung der Veränderung der Wohnqualität

## 4.2.3 Wirkungsindikatoren Belästigung und Schlafstörung

### 4.2.3.1 Lärmbelästigungsurteile nach Art von Schallschutzmaßnahmen

Die Belästigung durch unterschiedliche Quellen wurde mit der Frage „*Wenn Sie einmal an die letzten [Zeitraum je nach Gebiet 3 bzw. 4 oder 12 Monate] hier bei Ihnen denken, wie stark haben Sie sich durch den Lärm von [Lärmquelle] gestört oder belästigt gefühlt?*“ abgefragt und auf einer Skala von (1) *überhaupt nicht* bis (5) *äußerst gestört oder belästigt* beantwortet.

Um dabei die Wirkung der Schallschutzmaßnahmen zu analysieren, wurden die Urteile zur Belästigung durch Schienenverkehrslärm getrennt nach Schallschutzmaßnahmen ausgewertet und verglichen. Der Vergleich bezieht sich auf die Teilnehmenden aus den gleichen Gebieten wie in der Zufriedenheits-Analyse, allerdings fließen nur die Belästigungsurteile von Personen in die Analyse ein, die nur einmal an der Untersuchung sowie an der Nachherbefragung (nach Implementierung einer Schallschutzmaßnahme) teilgenommen haben.

Abbildung 30 zeigt die mittlere Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt getrennt nach Arten von Schallschutzmaßnahmen. Es zeigten sich signifikante Unterschiede in der Belästigung ( $F(3,218) = 24,567, p < .001, \eta^2=.26$ ) mit den höchsten Belästigungswerten bei Schienenstegdämpfern. Die geringste Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt wurde im Untersuchungsgebiet mit der Gabionenwand festgestellt.

Für die Abfrage der Belästigungsurteile für Lärm von Güterzügen zeigte sich ein vergleichbares Bild zu den Belästigungsurteilen für Schienenverkehrslärm insgesamt, jedoch mit deutlich höheren mittleren Belästigungswerten (Abbildung 31). Auch hier zeigten sich eine niedrigere Belästigung im Gebiet mit der Gabionenwand und hohe Belästigungswerte für das Gebiet mit den implementierten Schienenstegdämpfern. Die Untersuchungsgebiete unterschieden sich auch hier signifikant in der mittleren Belästigung durch Lärm von Güterzügen ( $F(3, 218) = 26,822, p < .001, \eta^2=.27$ ).

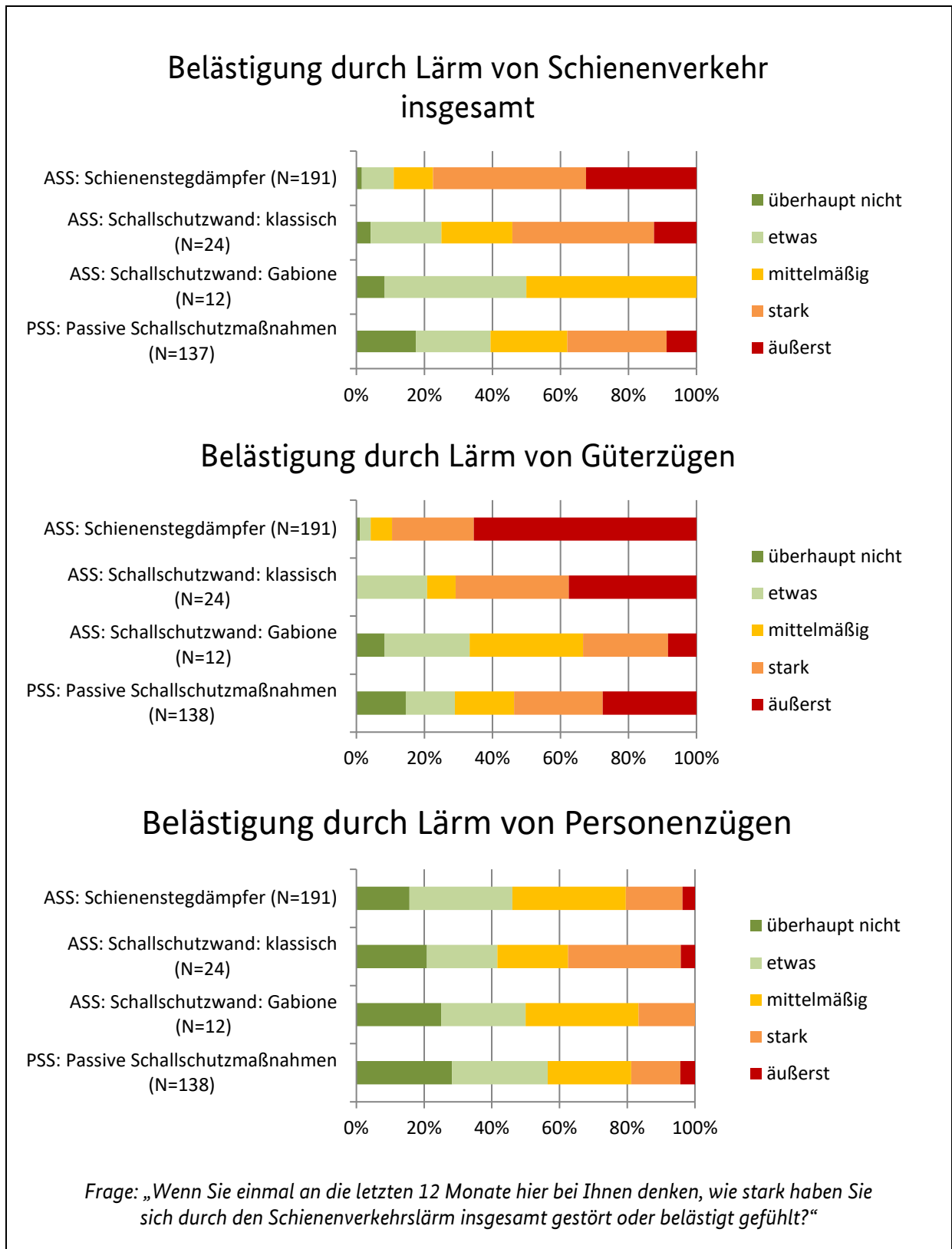


Abbildung 29: Häufigkeiten der Belästigungsangaben getrennt nach Art von Schallschutzmaßnahmen

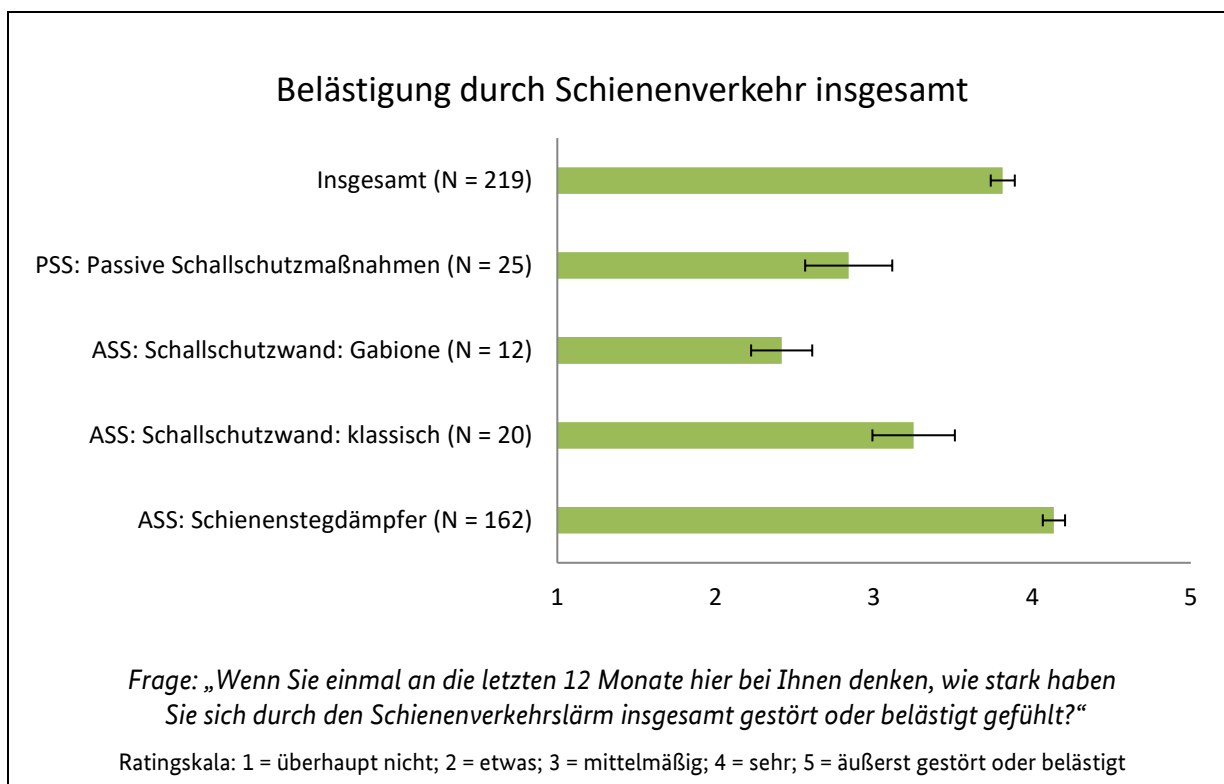


Abbildung 30: Belästigung durch Schienenverkehr insgesamt im allgemeinen Vergleich: Aktiver Schallschutz Schienenstegdämpfer vs. Aktiver Schallschutz Schallschutzwand vs. Passive Schallschutzmaßnahmen

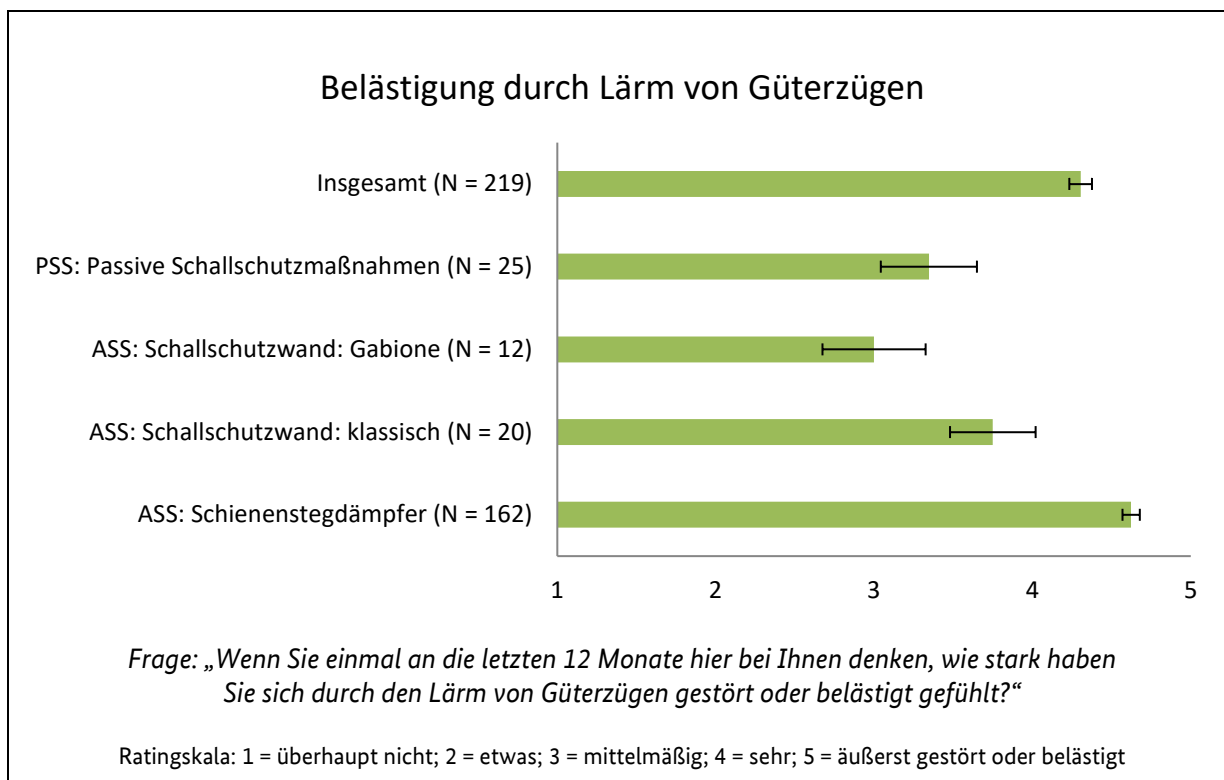


Abbildung 31: Belästigung durch Lärm von Güterzügen im allgemeinen Vergleich: Aktiver Schallschutz Schienenstegdämpfer vs. Aktiver Schallschutz Schallschutzwand vs. Passive Schallschutzmaßnahmen

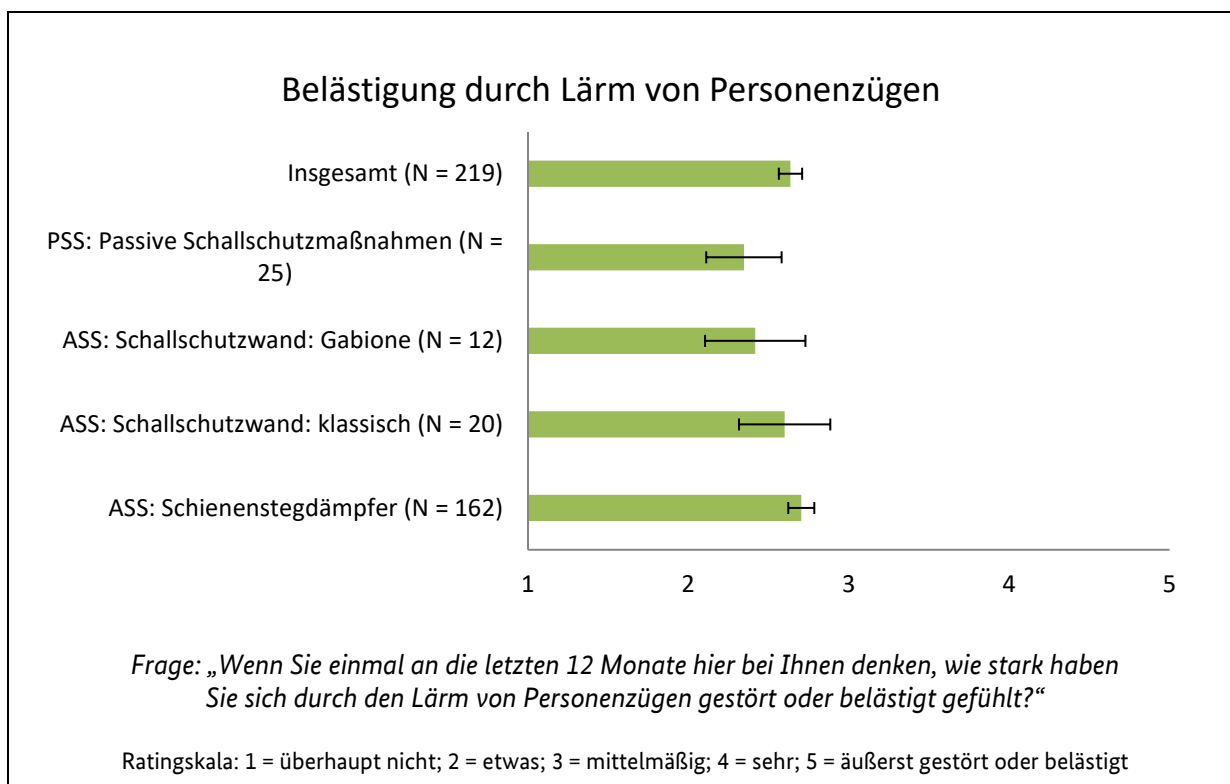


Abbildung 32: Belästigung durch Lärm von Personenzügen im allgemeinen Vergleich: Aktiver Schallschutz Schienenstegdämpfer vs. Aktiver Schallschutz Schallschutzwand vs. Passive Schallschutzmaßnahmen

Bei der Belästigung durch Lärm von Personenzügen zeigten sich hingegen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schallschutzmaßnahmenarten (siehe Abbildung 32,  $F(3,218) = 1,011$ ;  $p = .389$ ,  $\eta^2 = .014$ ). Hier lag die mittlere Belästigung für alle Gebiete zwischen 2 und 3, also zwischen *etwas* und *mittelmäßig* belästigt.

In jedem Untersuchungsgebiet wurden neben der Belästigung durch Schienenverkehrslärm auch die Lärmbelästigung durch weitere Quellenarten erhoben: Lärm im Wohngebiet insgesamt, Straßenverkehr insgesamt, LKWs, PKWs, Motorräder, Straßen- und U-Bahnen, Baustellen sowie die Belästigung durch Erschütterungen vom Schienenverkehr. Die Häufigkeitsangaben hierzu finden sich im Anhang (Abbildung 102ff.).

#### 4.2.3.2 Belästigung durch Schienenverkehr unter Berücksichtigung des Einflusses von Zeit vor bzw. nach Implementierung der Schallschutzmaßnahmen

In Abbildung 33 wird die Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt im Vergleich zwischen den Untersuchungsgebieten dargestellt. Abbildung 34 zeigt die Belästigung durch den Lärm von Güterzügen im Vergleich zwischen den Untersuchungsgebieten und Abbildung 35 stellt den Vergleich der Belästigung durch Personenzüge zwischen den Untersuchungsgebieten dar.

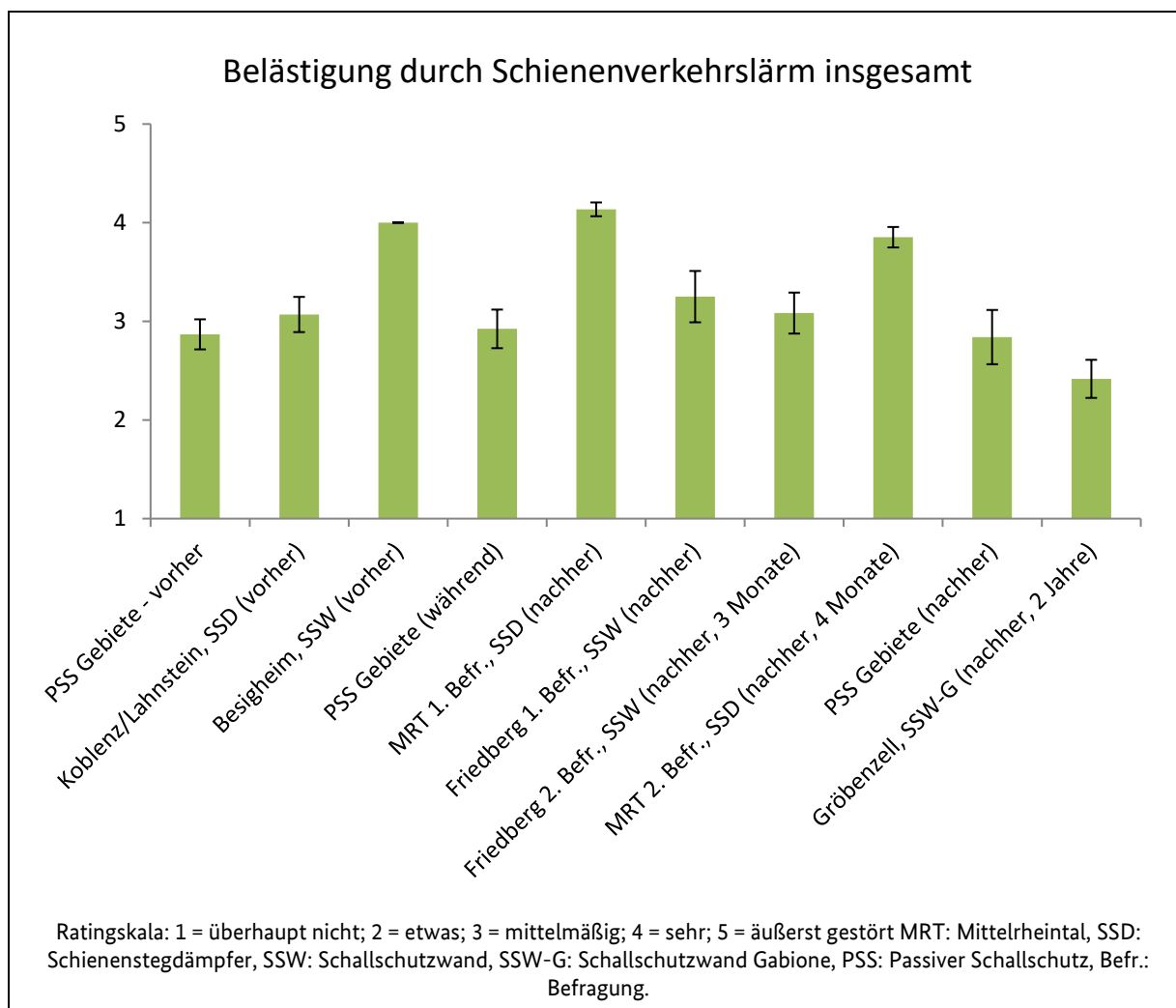


Abbildung 33: Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt im Vergleich über die unterschiedlichen Untersuchungsgebiete und Schallschutzmaßnahmen

Insgesamt zeigt sich kein einheitliches Bild bezüglich der Belästigung, ebenfalls scheint kein Muster erkennbar zu sein bezüglich der Höhe der Belästigung in unterschiedlichen Situationen vor oder nach Einführung der Schallschutzmaßnahmen beziehungsweise im zeitlichen Verlauf der Implementierung. Vielmehr scheinen die Belästigungswerte charakteristisch nach Schallschutzart zu variieren. Hier wäre eine Vorher-Nachher-Untersuchung aufschlussreich, um die Veränderung der Belästigung vor und nach der Implementierung an einem Ort pro Maßnahme zu analysieren.

Es zeigt sich jedoch, dass die Belästigung durch Schienenverkehr deutlich durch den Lärm von Güterzügen geprägt zu sein scheint. Dort fallen die Belästigungswerte vergleichsweise höher aus. Dagegen wird der Lärm von Personenzügen über die Untersuchungsgebiete hinweg als deutlich geringer belästigend eingeschätzt.

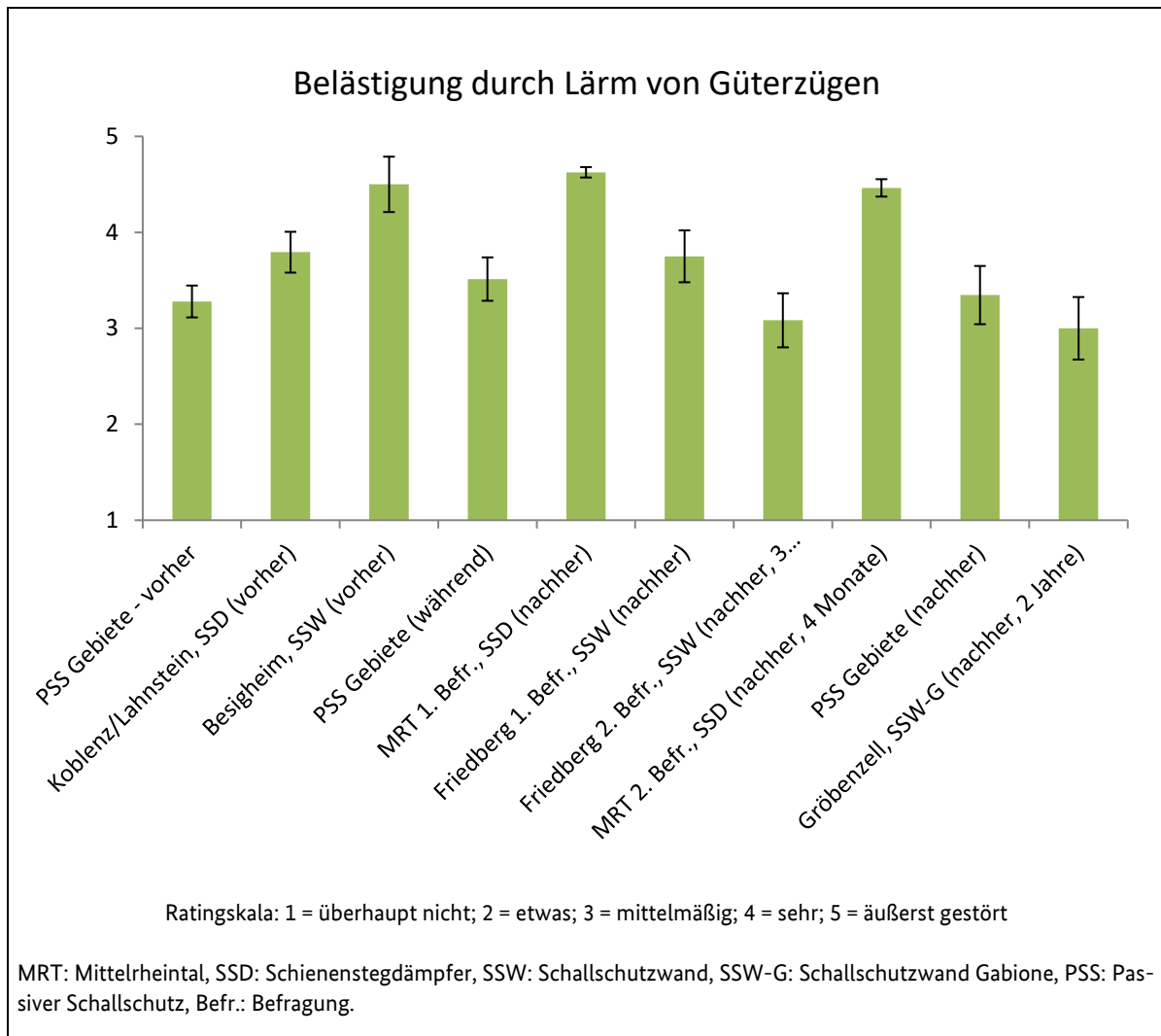


Abbildung 34: Belästigung durch Lärm von Güterzügen im Vergleich über die unterschiedlichen Untersuchungsgebiete und Schallschutzmaßnahmen



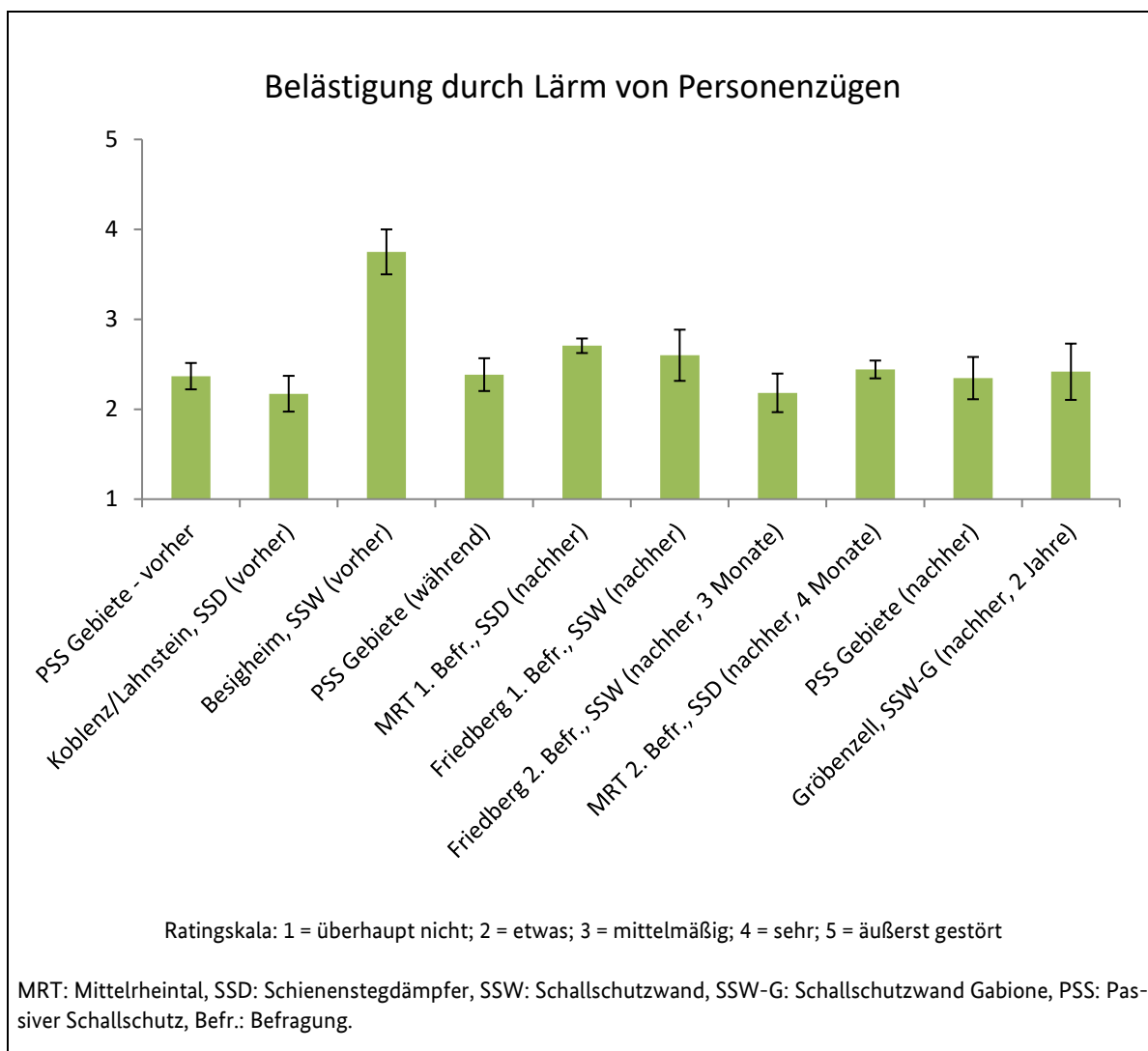


Abbildung 35: Belästigung durch Lärm von Personenzügen im Vergleich über die unterschiedlichen Untersuchungsgebiete und Schallschutzmaßnahmen

### 4.2.3.3 Schlafstörungsurteile nach Art von Schallschutzmaßnahmen

Zur Erfassung der durch den Schienenverkehrslärm bedingten Schlafstörungen wurde abgefragt, wie stark sich die Befragten in den letzten 12 Monaten bei den einzelnen Schlafsituationen „Einschlafen“, „Nachtschlaf“ und „Ausschlafen“ durch Lärm von Schienenverkehr gestört fühlten. Beantwortet wurde dies auf einer Skala von (1) *überhaupt nicht gestört* bis (5) *äußerst gestört*. Ein Vergleich der Schlafstörungsurteile zeigte nur geringe Unterschiede zwischen den Urteilen für die Schlafsituationen Einschlafen (Abbildung 36), Nachtschlaf (Abbildung 37) und Ausschlafen (Abbildung 38) innerhalb einer Schallschutzmaßnahmenart. Zwischen den Schallschutzmaßnahmenarten zeigten sich jedoch Unterschiede sowohl beim Einschlafen ( $F(3,219) = 27,092; p < .001, \eta^2=.27$ ), für den Nachtschlaf ( $F(3,219) = 21,939, p < .001, \eta^2=.23$ ) als auch bezogen auf das Ausschlafen ( $F(3,219) = 20,732; p < .001, \eta^2=.22$ ). So zeigten sich die Befragten in den Gebieten mit Schienenstegdämpfern stärker beeinträchtigt beim Schlafen als Befragte der Untersuchungsgebiete Schallschutzwand (klassisch sowie Gabione) und passive Schallschutzmaßnahmen.

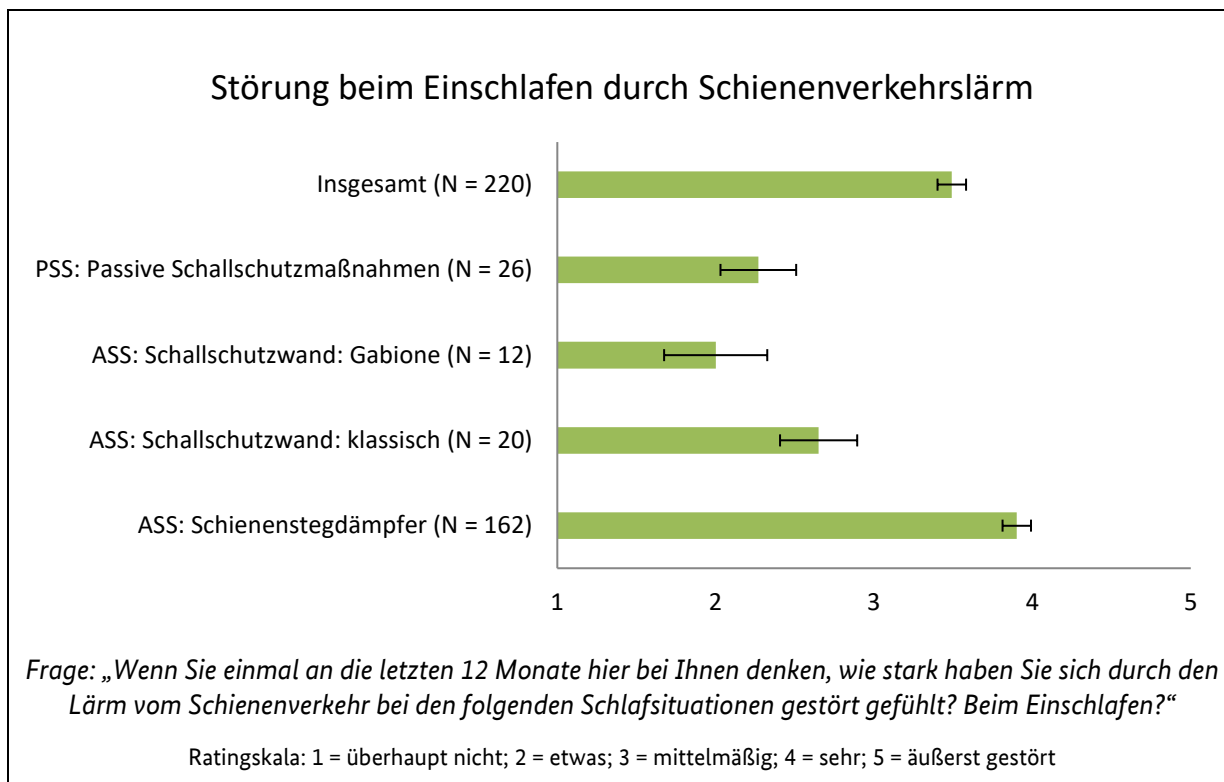


Abbildung 36: Störung beim Einschlafen durch Lärm vom Schienenverkehr im Vergleich zwischen den Maßnahmen: Aktiver Schallschutz (ASS) Schienenstegdämpfer vs. Aktiver Schallschutz Schallschutzwand (ASS) vs. Passive Schallschutzmaßnahmen (PSS)

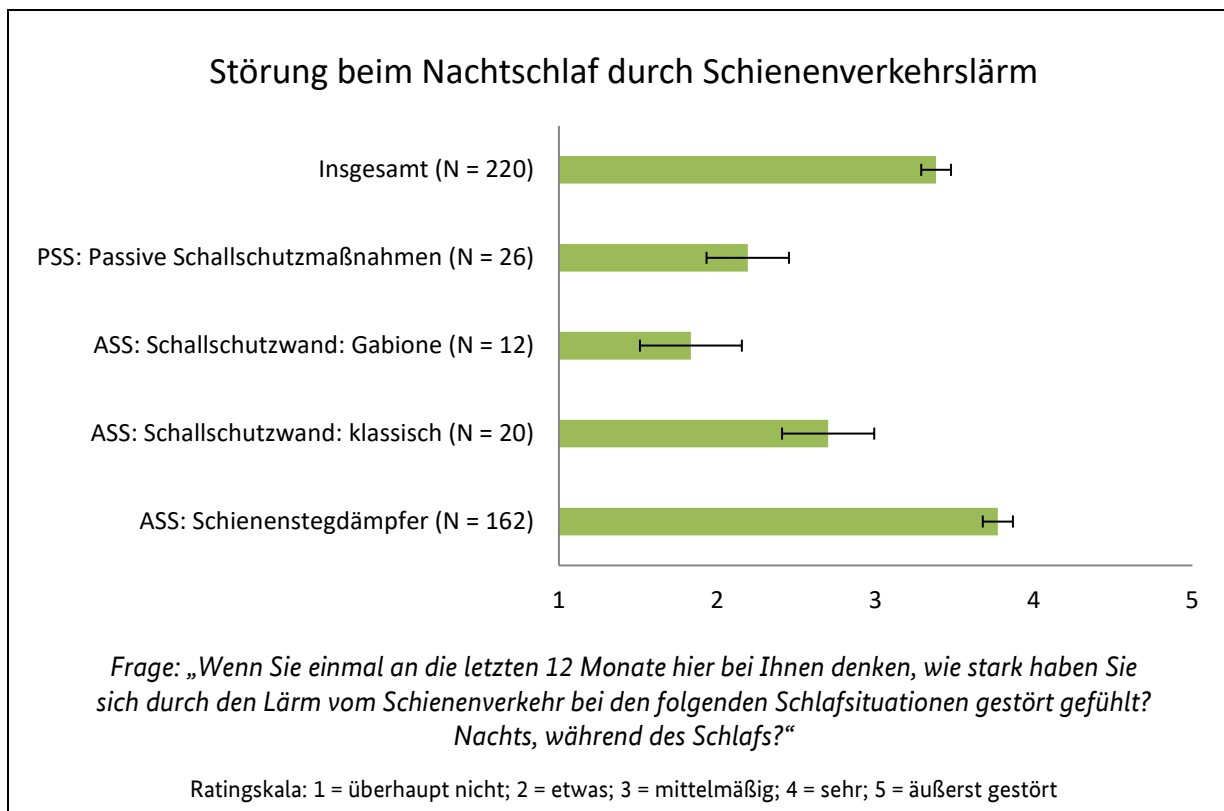


Abbildung 37: Störung beim Nachtschlaf durch Lärm vom Schienenverkehr im Vergleich zwischen den Maßnahmen: Aktiver Schallschutz Schienenstegdämpfer vs. Aktiver Schallschutz Schallschutzwand vs. Passive

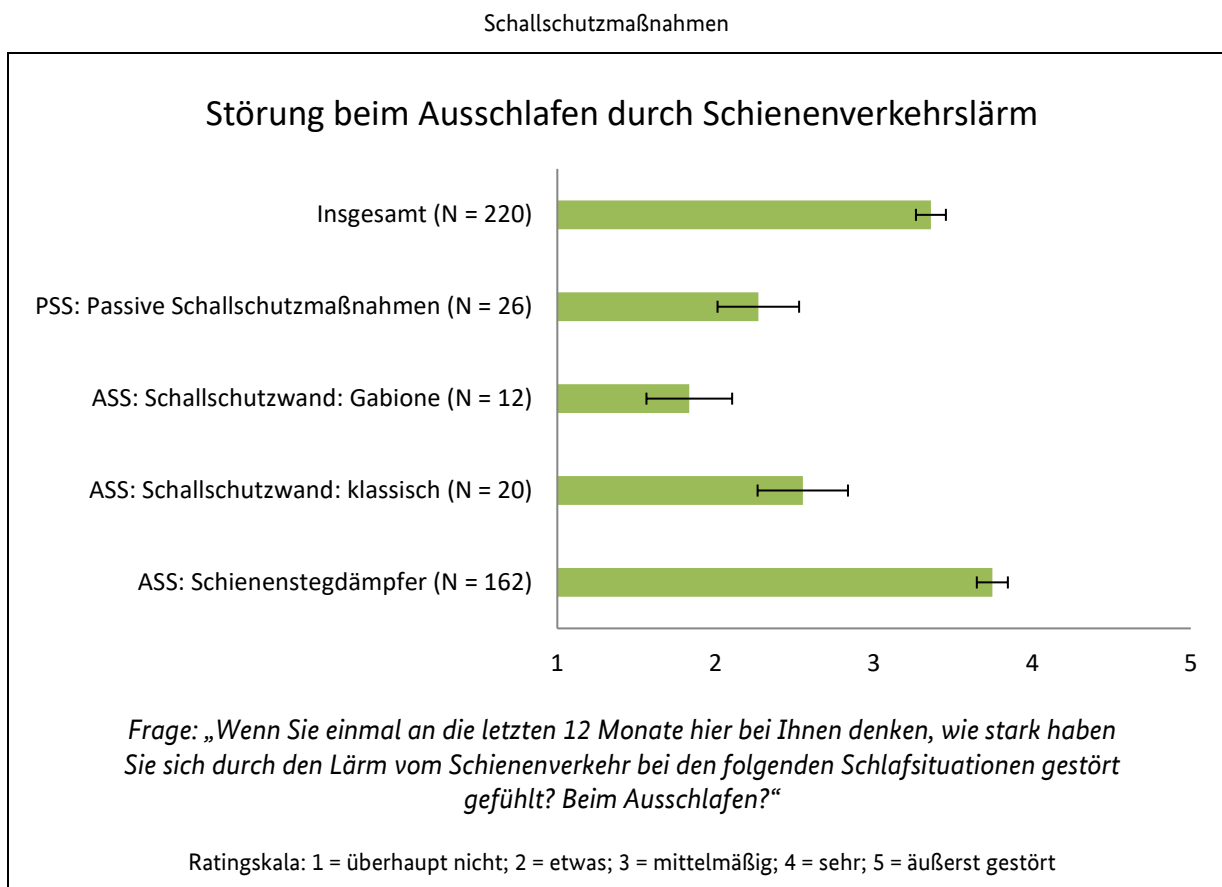


Abbildung 38: Störung beim Ausschlafen durch Lärm vom Schienenverkehr im Vergleich zwischen den Maßnahmen: Aktiver Schallschutz Schienenstegdämpfer vs. Aktiver Schallschutz Schallschutzwand vs. Passive Schallschutzmaßnahmen

Eine Übersicht der Häufigkeiten der einzelnen Angaben für die Störung bei den Schlafsituationen Ein-, Nacht- und Ausschlafen getrennt nach den unterschiedlichen Quellen Lärm im Wohngebiet insgesamt (Abbildung 195ff.), Straßenverkehrslärm (Abbildung 203ff.), Schienenverkehrslärm (Abbildung 211ff.) findet sich im Detail für die einzelnen Untersuchungsgebiete im Anhang.

## 4.2.4 Bewertung der Schallschutzmaßnahmen

### 4.2.4.1 Zufriedenheit mit den Schallschutzmaßnahmen

Teilnehmende in Gebieten, in denen bereits Schallschutzmaßnahmen umgesetzt wurden, wurden nach ihrer Zufriedenheit mit dieser Maßnahme befragt. Dabei handelte es sich um das Mittelrheintal, Friedberg, Gröbenzell sowie Fulda. Dazu wurden die Teilnehmenden gefragt, wie zufrieden sie mit der bei ihnen implementierten Schallschutzmaßnahme seien. Die Zufriedenheitswertung wurde auf einer Skala von (1) *nicht zufrieden* bis (5) *sehr zufrieden* abgegeben. Die Häufigkeiten der Nennungen in den jeweiligen Untersuchungsgebieten finden sich im Anhang (Abbildung 102ff.). Eine Übersicht gibt Abbildung 39. Im Farbverlauf zeigt sich, dass je roter die Balken sind, desto häufiger ging die Wertung in Richtung Unzufriedenheit. Je mehr Grünanteile die Balken in der Abbildung haben, desto mehr Personen gibt es, die zufrieden mit den Schallschutzmaßnahmen sind.

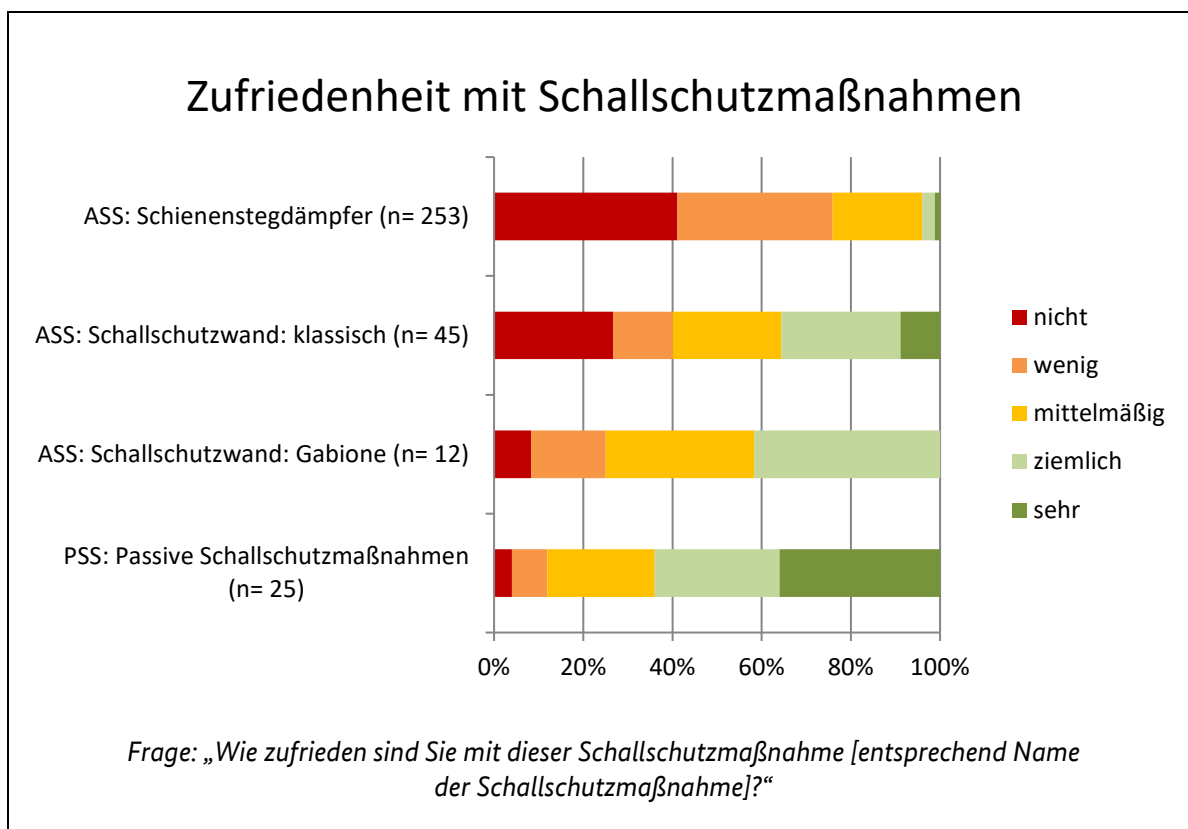


Abbildung 39: Zufriedenheit mit den Schallschutzmaßnahme, Häufigkeit der Antwortmöglichkeiten

Abbildung 39 zeigt die Mittelwerte der Zufriedenheit mit den Schallschutzmaßnahmen getrennt für die Schallschutzarten „Aktiver Schallschutz Schienenstegdämpfer“ vs. „Aktiver Schallschutz Schallschutzwand“ vs. „Passiver Schallschutz“. Es zeigte sich eine höhere Zufriedenheit bei den passiven Schallschutzmaßnahmen und eine geringe Zufriedenheit mit der Schallschutzmaßnahme Schienenstegdämpfer. Die Unterschiede in der Zufriedenheit zwischen den Maßnahmenarten sind signifikant ( $F(2,285) = 59,505, p < .001, \eta^2 = .30$ ). Wird die Schallschutzmaßnahme Schallschutzwand in der Art unterschieden, zeigte sich eine etwas höhere Zufriedenheit mit der Gabionenwand im Vergleich zur klassischen Schallschutzwand (Abbildung 40). Auch hier sind die Unterschiede statistisch signifikant ( $F(3,285) = 40,106, p < .001, \eta^2 = .30$ ).

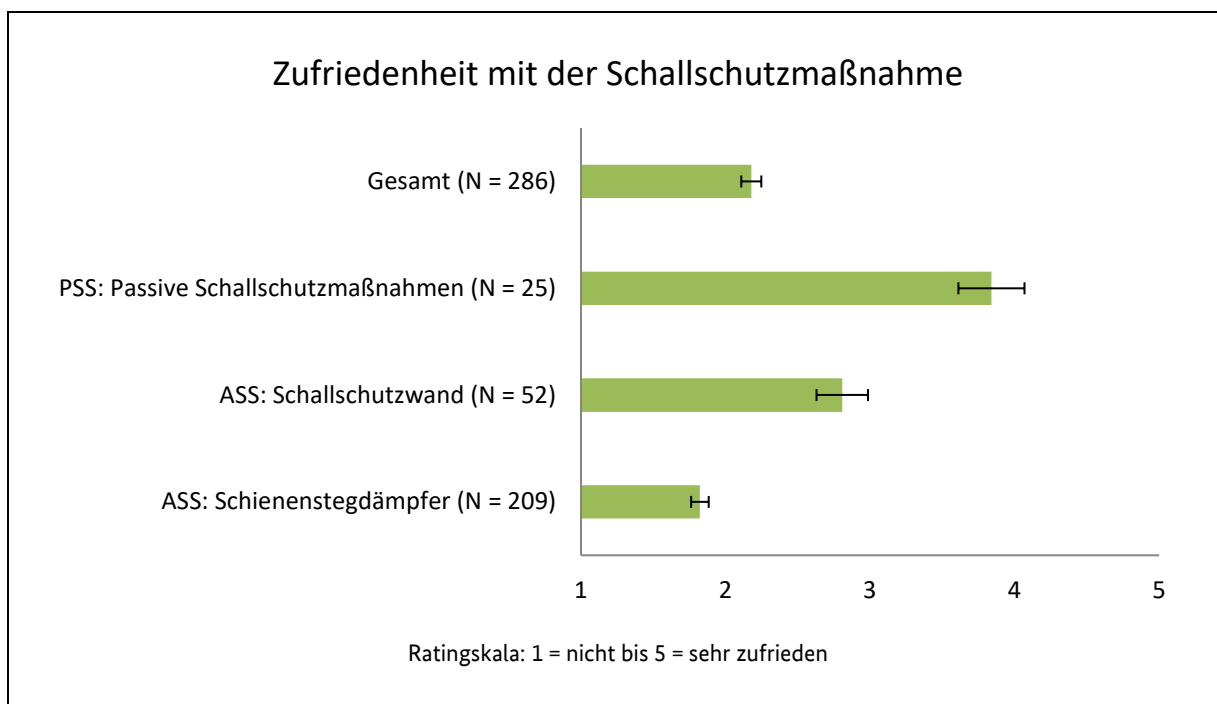


Abbildung 40: Zufriedenheit mit den Schallschutzmaßnahmen im allgemeinen Vergleich Aktiver Schallschutz (ASS) Schienenstegdämpfer vs. Aktiver Schallschutz (ASS) Schallschutzwand vs. Passive Schallschutzmaßnahmen (PSS)

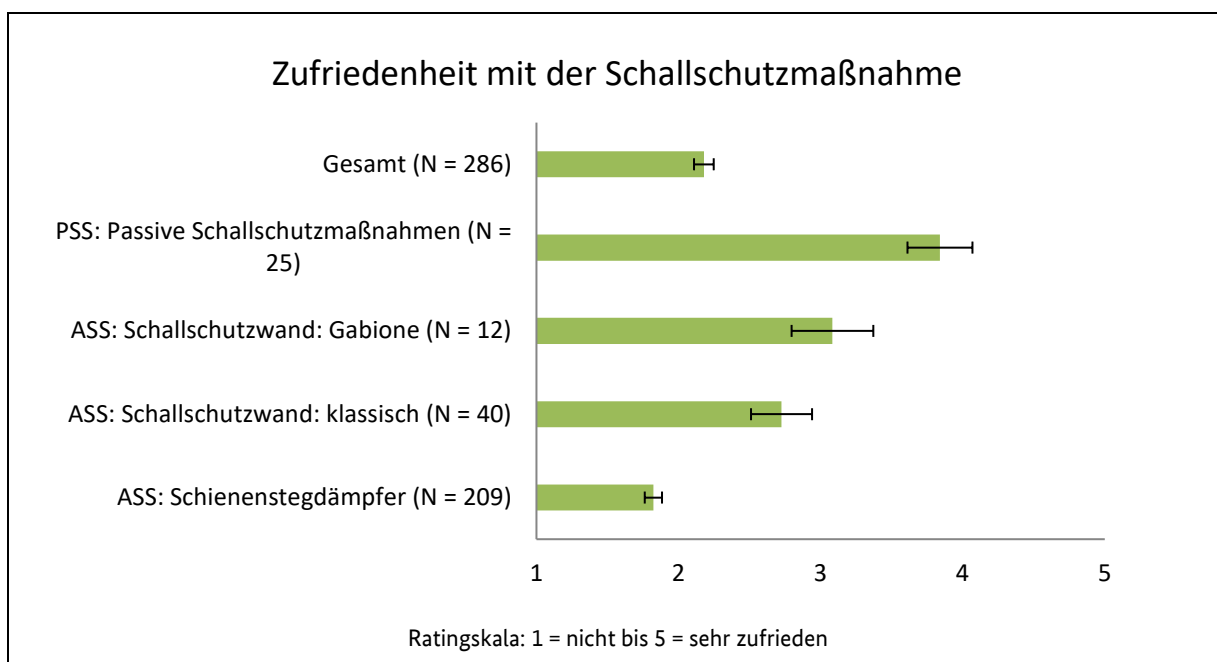


Abbildung 41: Zufriedenheit mit den Schallschutzmaßnahmen im Vergleich Aktiver Schallschutz (ASS) Schienenstegdämpfer vs. Aktiver Schallschutz (ASS) Schallschutzwand vs. Passive Schallschutzmaßnahmen (PSS) mit Differenzierung zwischen den Schallschutzwandarten.

#### 4.2.4.2 Gründe für Zufriedenheit mit Maßnahmen

Anschließend an die Abfrage der Zufriedenheit mit der jeweiligen Schallschutzmaßnahme wurden die Befragten gebeten, in einer offenen Antwortoption Gründe für ihr Zufriedenheitsurteil anzugeben. Entsprechend finden sich positive und negative Anmerkungen zur Begründung wieder (Tabelle 8). Wie anzunehmen wurde die Zufriedenheit mit Schallschutzmaßnahmen in allen Untersuchungsgebieten vor allem durch eine lärmindernde Wirkung der jeweiligen Schallschutzmaßnahme begründet. Weitere positive Urteile bezogen sich auf leise Waggons (Mittelrheintal; Schienenstegdämpfer) und eine bessere Wärmedämmung (Fulda; passiver Schallschutz).

Insgesamt nannten die Befragten mehr Gründe für Unzufriedenheit mit Schallschutzmaßnahmen. Vor allem im Mittelrheintal (Schienenstegdämpfer) gaben Befragte an, keine oder nur minimale Veränderungen wahrzunehmen. Zudem wurde angegeben, dass die Unzufriedenheit auf die Beschaffenheit der (Güter-)Züge, starke Erschütterungen und die hohe Geschwindigkeit von vorbeifahrenden Zügen zurückgeführt wird. In Friedberg wurden der ungünstige Standort der Schallschutzwand und ihre zu geringe Höhe bemängelt. Auch in Gröbenzell wird von dieser Problematik berichtet, wodurch eine ungünstige Schallausbreitung entstehe, also z. B. Schall direkt auf eine Dachwohnung treffe. In Fulda wurde eine unzureichende Garantie gegen Bauschäden als Grund der Ablehnung des Einbaus passiver Schallschutzmaßnahmen angeführt.

Außerdem wurde darauf verwiesen, dass die Möglichkeit fehle bzw. eingeschränkt sei, Fenster in warmen Jahreszeiten zu öffnen. Dass diese fehlende Möglichkeit der natürlichen Raumbelüftung Unzufriedenheit auslöst, ist auch aus anderen Lärmwirkungsstudien bekannt. So konnte eine Befragungsstudie in der Gemeinde Raunheim, die innerhalb der Fluglärm-Nachtschutzzone am Flughafen Frankfurt liegt und in der Wohnimmobilienbesitzende Anspruch auf Finanzierung passiver Schallschutzmaßnahmen haben, zeigen, dass mehrheitlich Schlafzimmerfenster gekippt gehalten werden und gegenüber der Verwendung von Lüftern, die zum Schallschutz eingebaut wurden, bevorzugt werden, um im Schlafzimmer nachts zu lüften. Wer aus Fluglärmgründen das Fenster auch in warmen Jahreszeiten geschlossen hielt, berichtete eine höhere Lärmbelästigung und ein schlechteres Raumklima als diejenigen, die das Fenster gekippt oder geöffnet hielten [31]. Damit korrespondierend zeigen die Ergebnisse einer schwedischen Studie zur Wirkung von Straßenverkehrslärm, dass unter den durch Straßenverkehrslärm verursachten Störungen die fehlende Möglichkeit, das Schlafzimmerfenster zu öffnen, als stärkste Störung berichtet wurde, die eng mit der Straßenverkehrsgeräuschbelastung verbunden war [32].

TABELLE 8 ÜBERSICHT ÜBER GRÜNDE FÜR ZUFRIEDENHEITSURTEILE ÜBER DIE JEWEILIGEN SCHALLSCHUTZMAßNAHMEN

Gründe für Zufriedenheitsurteil mit Schallschutzmaßnahme	Anzahl	Gründe für Unzufriedenheitsurteil mit Schallschutzmaßnahme	Anzahl
<b>Mittelrheintal</b>			
(Schienenstegdämpfer)			
lärmmindernde Wirkung	8	keine/geringe lärmmindernde Wirkung	125
leisere Waggons	1	alte Waggons /laute Güterzüge/defekte Wagons	19
unspezifisch positiv	5	anhaltende starke Erschütterungen	7
		anhaltend starker Lärm	7
		hohe Geschwindigkeit der Züge	5
		Lärm angestiegen	4
		Vibrationen und niederfrequenter Lärm	2
		keine Schienenstegdämpfer verbaut	1
		keine Lärmminderung da Zug direkt am Haus vorbeifährt	1
		unspezifisch negativ	7
unspezifisch neutrale Nennungen	6		
<b>Friedberg</b>			
(Schallschutzwand)			
lärmmindernde Wirkung der Maßnahme	11	Lärm unverändert	10
		Mauer sollte höher sein (bessere Minderung, Sichtbarkeit (Reflexion, Licht, Blitze) des Zugverkehrs wäre reduziert)	4
		Standort der Schallschutzwand ungünstig (zu kurz, schützt nicht ganze Siedlung, lückenhaft)	3
		mehr Vibration	1
		Optik gefällt nicht	1
		Erschütterungen weiterhin vorhanden	1
unspezifisch neutrale Nennungen	3		

Gröbenzell			
(Gabionenwand)	Anzahl	Anzahl	
lärmmindernde Wirkung durch Gabionenwand (Geräusche zudem angenehmer)	5	Standort und Länge der Wand (Wand endet direkt an Haus --> halbe Wirkung, Schalltrichter)	2
		Schall prallt in höher gelegenen Wohnungen auf Hausdach	1
		Optik gefällt nicht	1
Fulda			
(Passiver Schallschutz)	Anzahl	Anzahl	
lärmmindernde Wirkung der Fenster (bei geschlossenen Fenstern)	13	Einbau wird abgelehnt, da keine Garantie für Bauschäden und Forderung von anderen Lärmschutzmaßnahmen	2
		bessere Wärmedämmung	1
		keine Veränderung der Lautstärke	1
		Lüfter kein 100% Ersatz für offene Fenster	1
		Fenster in warmer Jahreszeit nicht geschlossen halten	1
		Lüfter überflüssig	1
		Vibrationen	1
		Fenster undicht	1

#### 4.2.4.3 Zufriedenheit mit der Schallschutzmaßnahme im Vergleich zwischen den Gebieten

Getrennt nach Untersuchungsgebieten betrachtet zeigen sich deutliche Unterschiede in der Zufriedenheit mit den Schallschutzmaßnahmen (Abbildung 42). So war die Zufriedenheit im Mittelrheintal besonders gering, stieg jedoch etwas zur 2. Befragung an. Deutlich höher fiel das Zufriedenheitsurteil in Fulda aus, wo passive Schallschutzmaßnahmen eingebaut wurden. Die Unterschiede zwischen den Gebieten sind signifikant ( $F(5, 285) = 26,270, p < .001, \eta^2 = .32$ ).



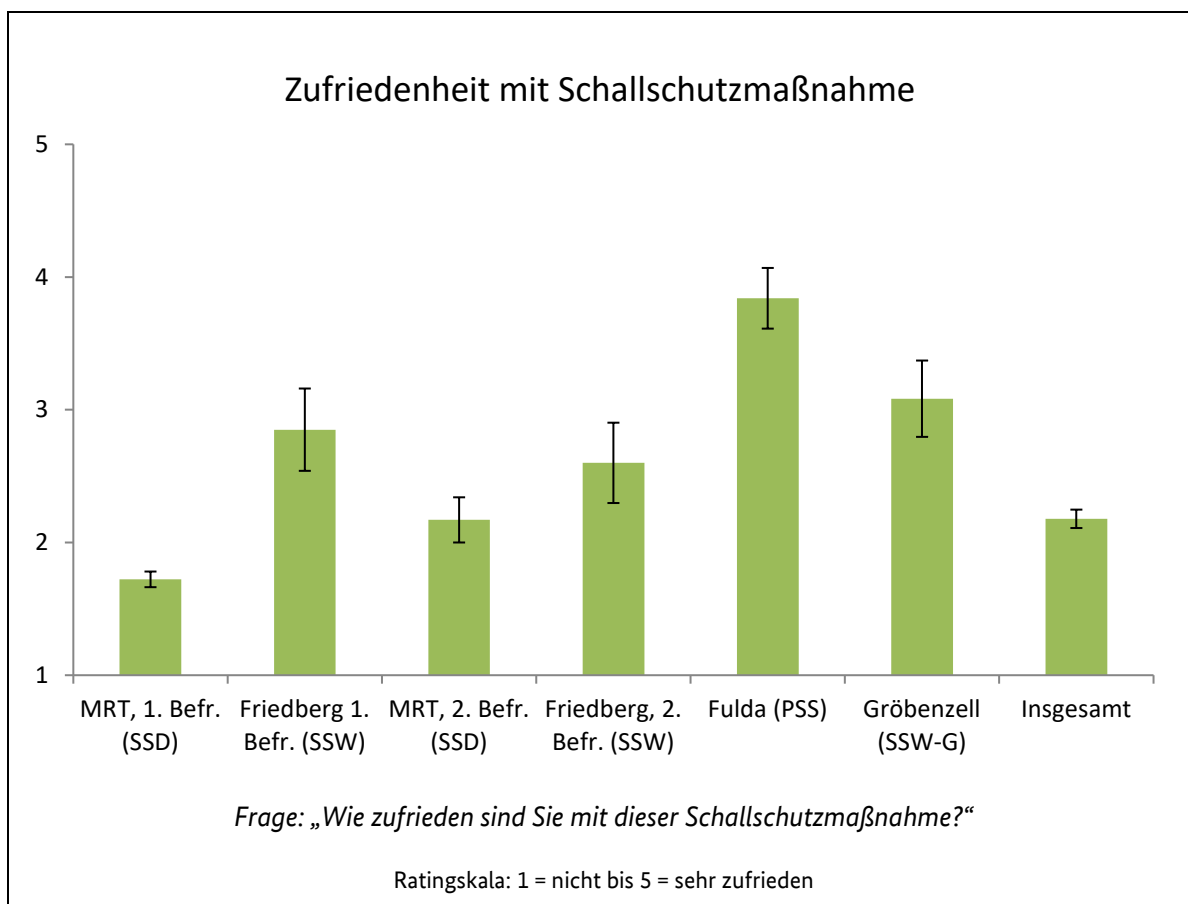


Abbildung 42: Zufriedenheit mit den Schallschutzmaßnahmen getrennt nach Untersuchungsgebieten im Zeitverlauf

Allerdings ließ sich im Untersuchungsgebiet Mittelrheintal (Schienenstegdämpfer) eine geringe Zunahme der Zufriedenheit bei der 2. Befragung vier Monate später feststellen. Im Untersuchungsgebiet Friedberg (Schallschutzwand) hingegen zeigte sich von der 1. zur 2. Befragung drei Monate später eine geringere Zufriedenheit mit der Schallschutzwand.

#### 4.2.4.4 Bewertung der Schallschutzmaßnahmen Schallschutzwand

In den Untersuchungsgebieten Friedberg und Gröbenzell waren zum Zeitpunkt der Untersuchung bereits Schallschutzwände errichtet. In Friedberg handelt es sich um eine klassische Schallschutzwand, in Gröbenzell um eine Gabionenwand. Um die Wirkung und Bedeutung der Wand für Anwohnende eingehender zu erfassen, wurden die Teilnehmenden gebeten, einzuschätzen, inwieweit sie mehreren Aussagen über die Schallschutzwand auf einer Skala von (1) *stimme nicht zu* bis (5) *stimme sehr zu* zustimmen. Abbildung 43, Abbildung 44 und Abbildung 45 zeigen die Einschätzung über die Schallschutzwände für Friedberg in der 1. Befragung, Friedberg in der 2. Befragung sowie für Gröbenzell.

Generell gibt es in beiden Gebieten eine ähnlich hohe Zustimmung (zwischen 3 und 4) für die Aussage, dass die Schallschutzwand nicht ausreichend ist, um gegen Lärm zu schützen. Geringe Zustimmung erfahren die Aussagen, dass die Schallschutzwand vor Abgasen und Gestank schützt (mit Werten zwischen 1 und 2), sich die Befragten eingeengt fühlen von der Schallschutzwand (Werte zwischen 1 und 2) und auch weniger Sonnenschein oder Licht wird durch die Schallschutzwand insgesamt eher nicht wahrgenommen.

Im Vergleich zur 1. Befragung zeigt sich bei der 2. Befragung in Friedberg eine höhere Zustimmung zur Aussage, dass die Lärmbelästigung durch die Schallschutzwand geringgehalten wird. Außerdem zeigt sich eine erhöhte Zustimmung zur Aussage, dass die Schallschutzwand die besondere Wohnlage berücksichtigt sowie Kinder vor Unfällen schützt. Eine erhöhte Zustimmung findet zudem die Aussage, dass die Schallschutzwand dazu beitrage, dass die Lärmbelästigung draußen im Garten oder auf dem Balkon sich in Grenzen halte.

Zwischen den Befragungen in Gröbenzell (Gabionenwand) und denen in Friedberg (klassische Schallschutzwand) zeigen sich ebenfalls Unterschiede. So gibt es in Gröbenzell höhere Zustimmungswerte zur Aussage, dass man durch die Schallschutzwand den Lärm in der Wohnung kaum noch hört. Zudem wird eher zugestimmt, dass die Schallschutzwand die Lärmsituation verbessert habe sowie eine deutlich höhere Zustimmung, dass die Situation draußen im Garten/Balkon verbessert wurde. In Gröbenzell gibt es deutlich weniger Zustimmung zur Aussage, dass die Schallschutzwand die besondere Wohnlage berücksichtige. Zudem wird eher der Aussage zugestimmt, dass die Schallschutzwand die Landschaft verschandele, obwohl sie allgemein positiver bewertet wird.

Insgesamt zeigt sich eine positivere Bewertung der Zufriedenheit mit der Schallschutzmaßnahme in Gröbenzell im Vergleich zu den Befragungen in Friedberg.

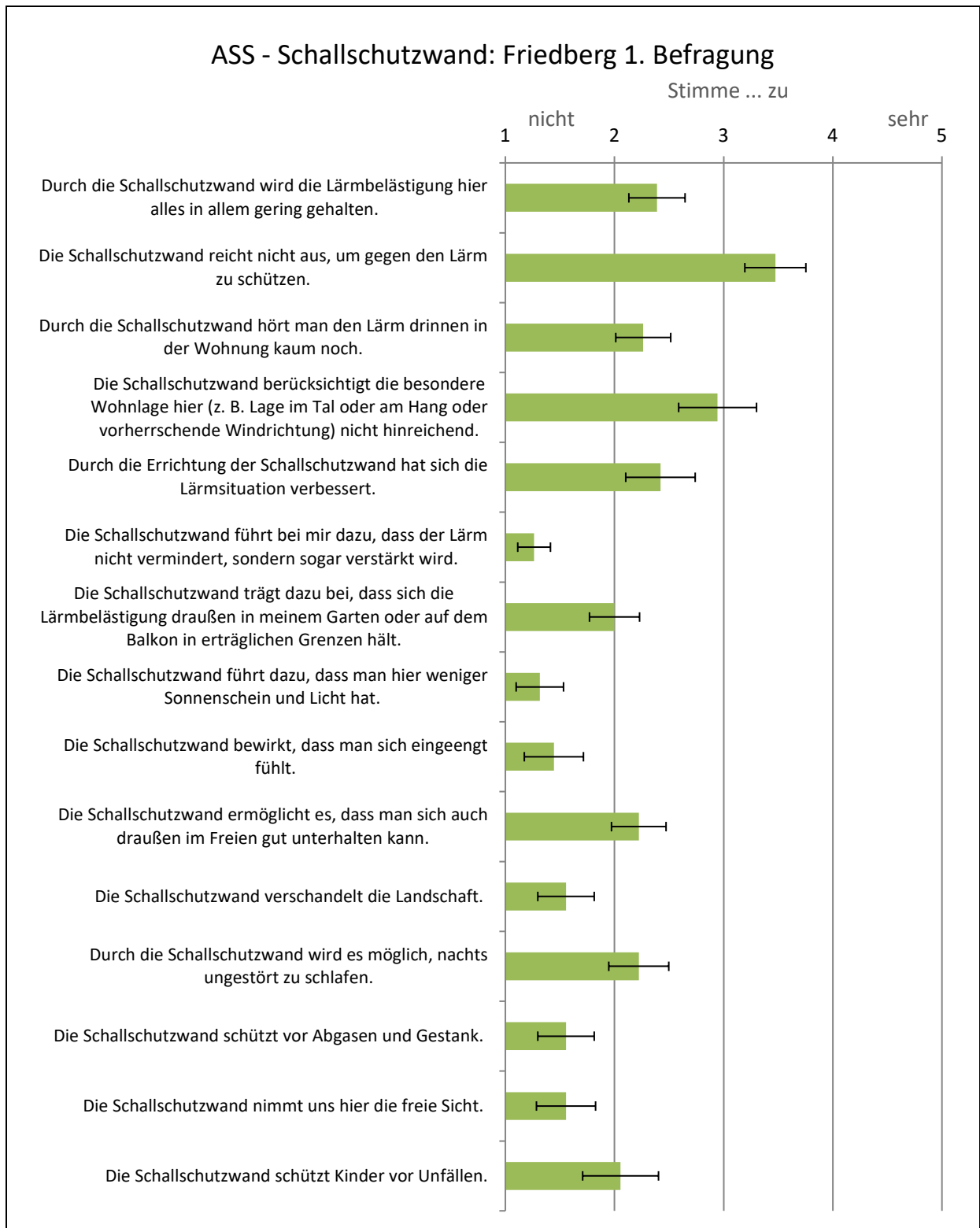


Abbildung 43: Bewertung der Schallschutzwand anhand von mehreren Aussagen für Friedberg (1. Befragung) kurz nach Implementierung der Schallschutzwand, N = 20

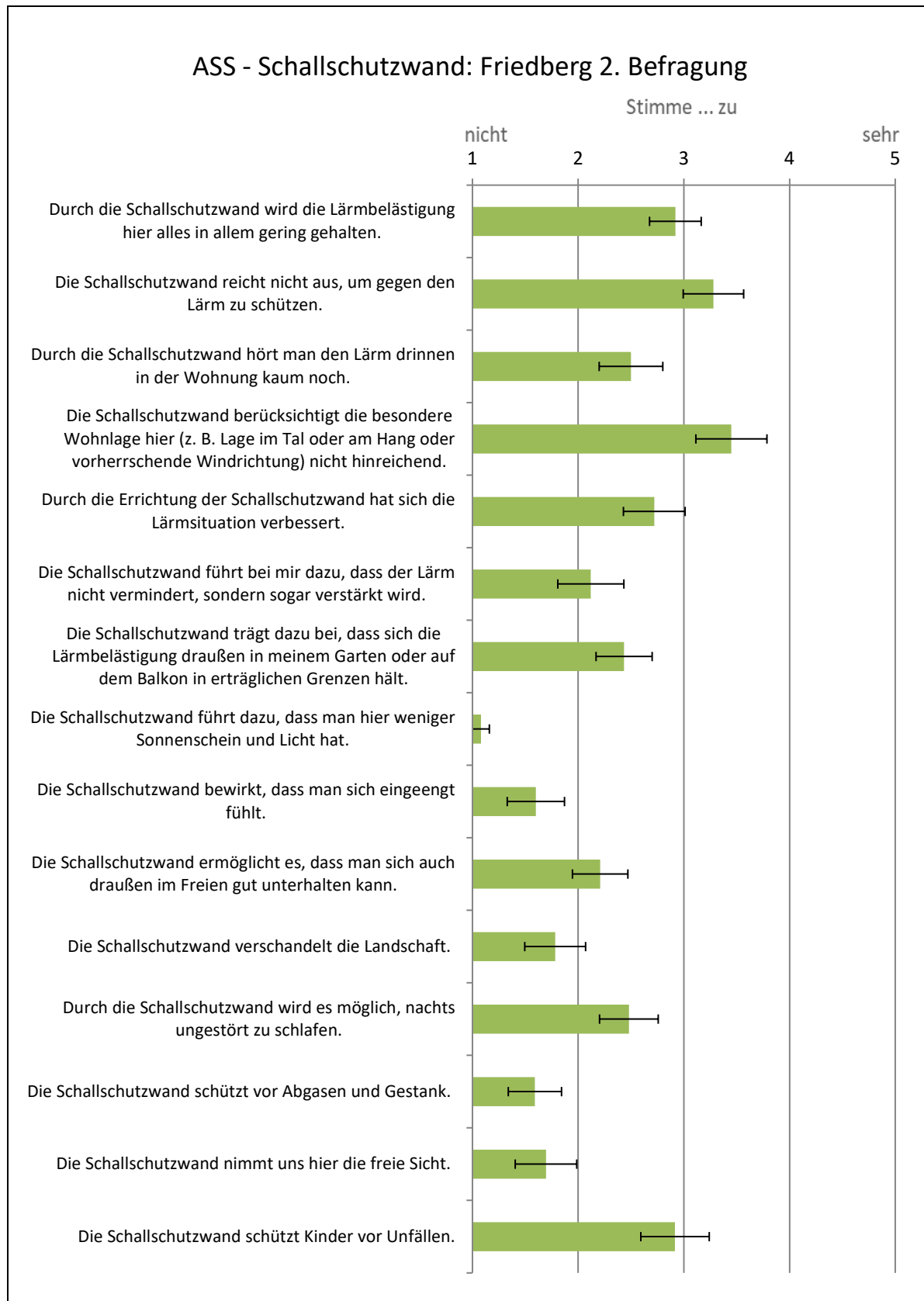


Abbildung 44: Bewertung der Schallschutzwand anhand von mehreren Aussagen für Friedberg (2. Befragung) 4 Monate nach Implementierung der Schallschutzwand, N = 27

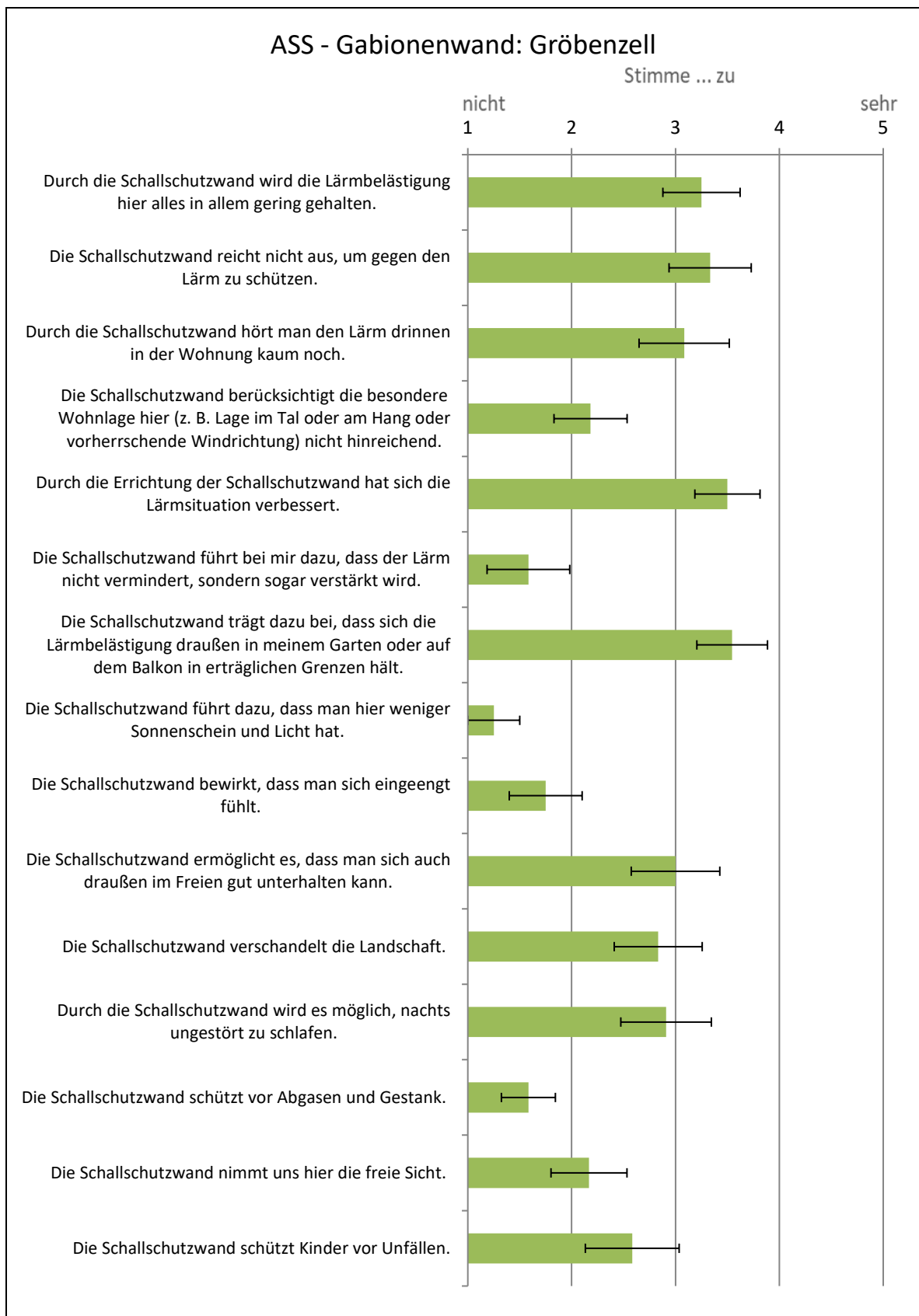


Abbildung 45: Bewertung der Schallschutzwand anhand von mehreren Aussagen für Gröbenzell mehrere Jahre nach Implementierung der Schallschutzwand (Gabione), N = 12

Zusätzlich wurde die Frage gestellt, welche Bedeutung die Schallschutzwand für die befragte Person habe. Dazu sollten bezüglich mehrerer Beschreibungen eine Zustimmung oder Ablehnung erfolgen (Beantwortung mit ja/nein). Abbildung 46 zeigt die Ergebnisse für die Untersuchungsgebiete Gröbenzell sowie Friedberg (1. Befragung) und Friedberg (2. Befragung). Es zeigt sich über die beiden Gebiete hinweg ein ähnliches Bild. Über 60% der Befragten stimmen zu, dass die Schallschutzwand eine Annehmlichkeit, Schutz und eine Notwendigkeit darstellt. Als Gefängnis oder Beeinträchtigung wird die Schallschutzwand von 5 - 20% der Befragten wahrgenommen.

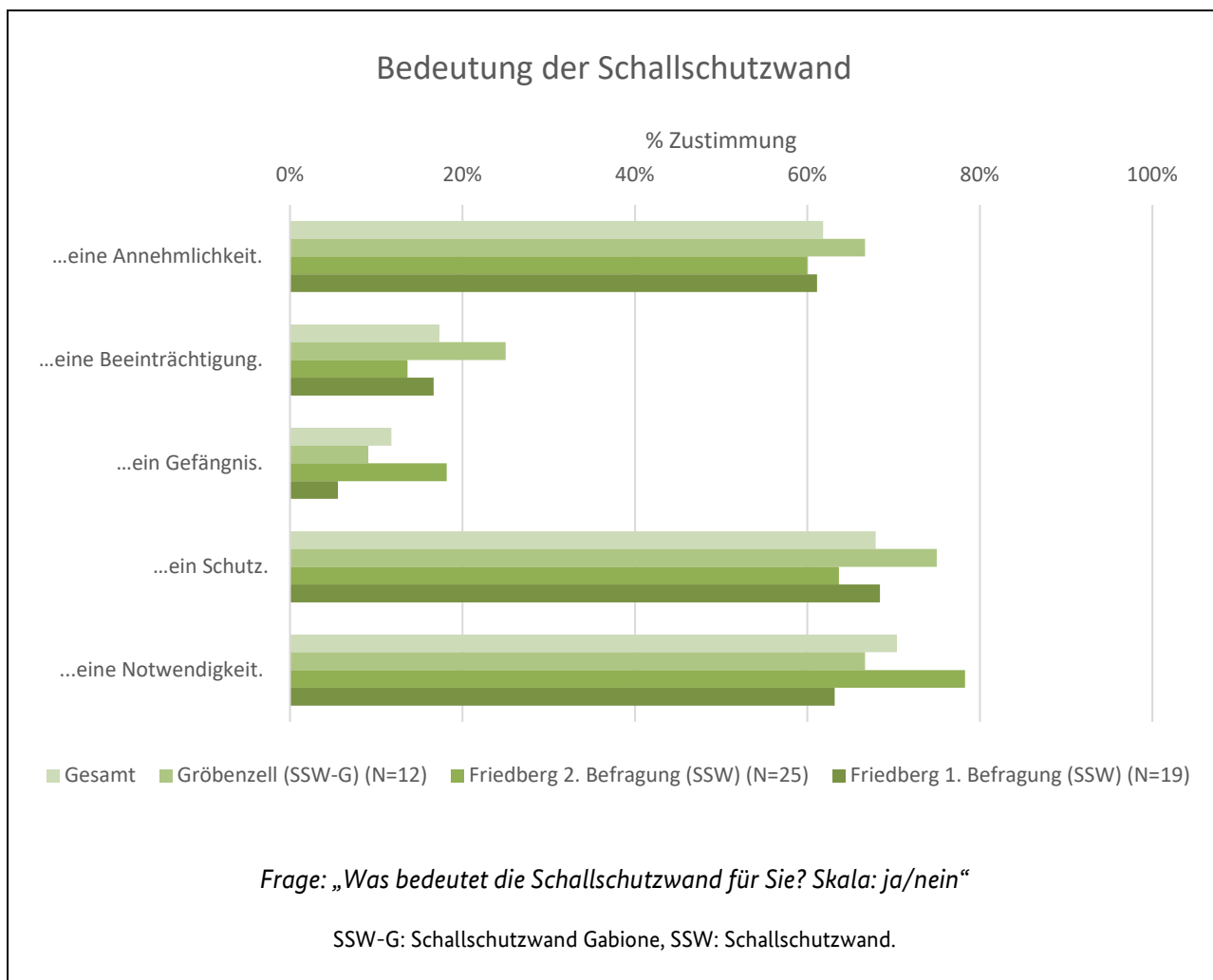


Abbildung 46: Zustimmung zu mehreren Aussagen zur Bedeutung der Schallschutzwand für die Befragten

#### 4.2.4.5 Bewertung der Schallschutzmaßnahme Schienenstegdämpfer

Im Mittelrheintal wurden zur Bewertung der Schienenstegdämpfer weitere Aussagen abgefragt. Sowohl in der 1. Befragung kurz nach Implementierung der Schienenstegdämpfer als auch drei Monate nach Implementierung der Maßnahme wurde eher wenig zugestimmt (zwischen 1 und 2), dass durch die Schallschutzmaßnahme ungestört geschlafen werden kann, dass sich durch die Maßnahme im Freien (z. B. im Garten oder Balkon) die Störung in erträglichem Rahmen hält sowie, dass die Lärmsituation verbessert wird. Höhere Zustimmungswerte erhält die Aussage, dass die Schallschutzmaßnahme nicht ausreicht, um gegen den Lärm zu schützen. Die Zustimmung fällt jedoch in der zweiten Befragung geringer aus als in der ersten Befragung (vgl. Abbildung 47 und Abbildung 48).

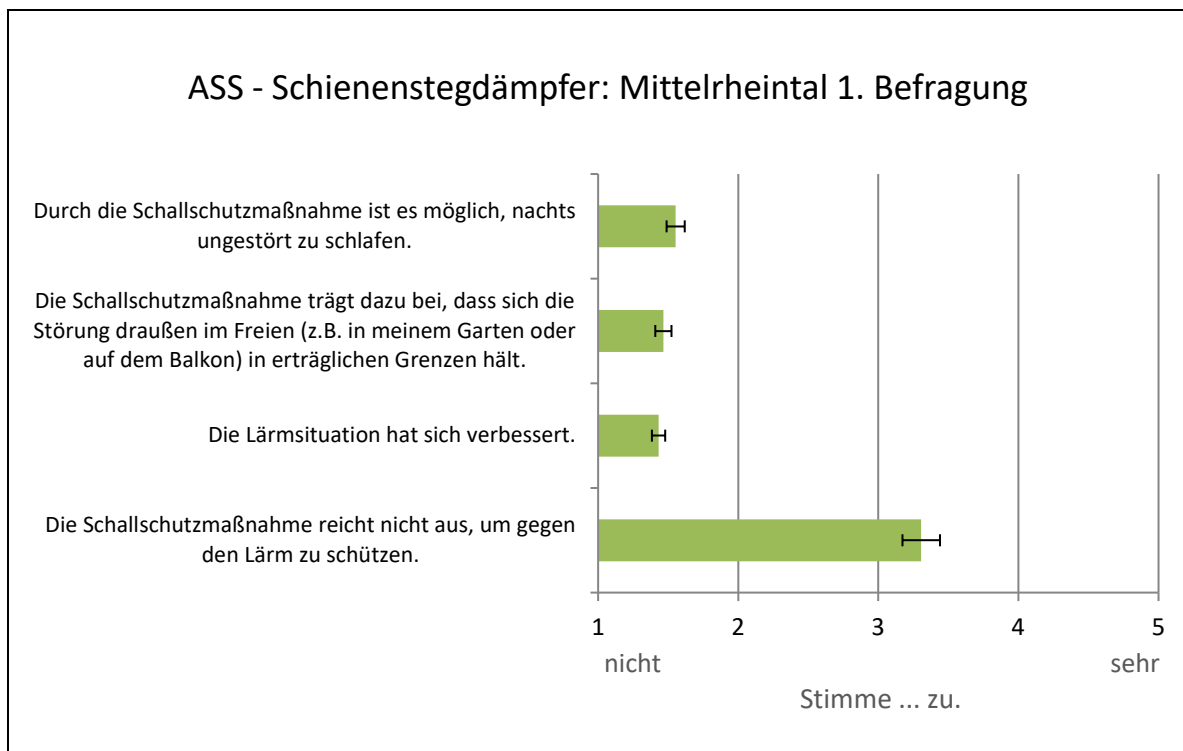


Abbildung 47: Bewertung der Schallschutzmaßnahme Schienenstegdämpfer anhand von mehreren Aussagen für das Mittelrheintal (2. Befragung) kurz nach Implementierung der Schienenstegdämpfer (N = 161)

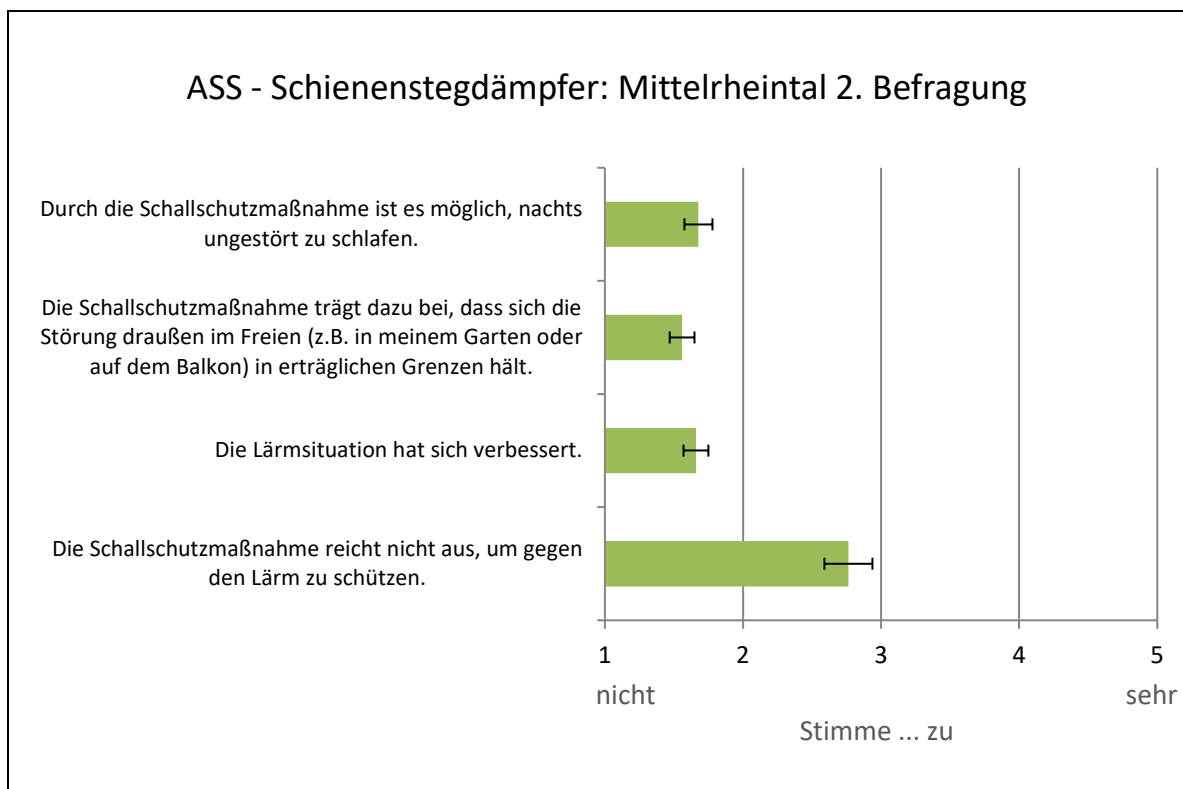


Abbildung 48: Bewertung der Schallschutzmaßnahme „Schienenstegdämpfer“ anhand von mehreren Aussagen für das Mittelrheintal (2. Befragung) 3 Monate nach Implementierung der Schienenstegdämpfer (N = 93)

### 4.2.4.6 Bewertung der Schallschutzmaßnahme Passiver Schallschutz

Im Untersuchungsgebiet Fulda waren teilweise zum Untersuchungszeitpunkt bereits passive Schallschutzmaßnahmen implementiert worden. Bei Haushalten mit bereits implementierten passiven Maßnahmen wurde gefragt, welche Veränderung der Geräuschbelastung nach Einbau der passiven Schallschutzmaßnahmen erlebt wird. Die Aussagen sollte auf einer Zustimmungsskala von (1) *stimme nicht zu* bis (5) *stimme sehr zu* bewertet werden (Abbildung 49). Es zeigt sich eine recht hohe Zustimmung zu den Aussagen, dass nächtlicher Schlaf ungestört möglich sei, die Lärmsituation sich verbessert habe sowie durch die Schallschutzfenster in der Wohnung der Lärm kaum noch hörbar sei (Zustimmungswerte zwischen 3 und 4). Diese Beurteilung fällt im Vergleich zu Befragten mit Schienenstegdämpfern deutlich höher aus.

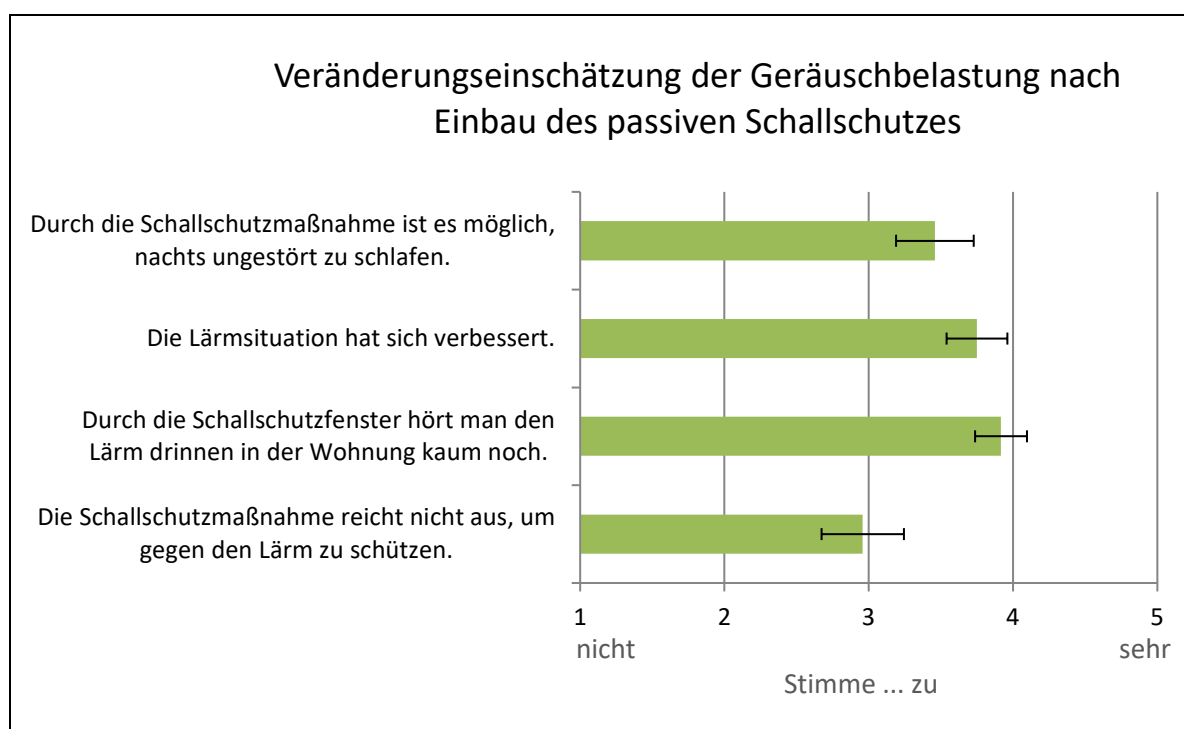


Abbildung 49: Einschätzung der Veränderung der Geräuschbelastung durch passiven Schallschutz in Fulda (N = 25)

Zur weiteren Erfassung der Wirkung von Schallschutzfenstern wurden weitere Aussagen zu Besonderheiten von Schallschutzfenstern und Lüftungsgeräuschen abgefragt (Abbildung 50). Dazu wurde die Zustimmung zu entsprechenden Aussagen abgefragt, zu beantworten auf einer Skala von (1) *stimme nicht zu* bis (5) *stimme sehr zu*. Die Anwohnenden gaben eine große Zustimmung zur Aussage, dass die Fenster gut gegen den Lärm von draußen schützen. Geringe Zustimmung erfuhren dagegen die Aussagen, dass die Belüftung unwirksam sei und dass die Geräusche der Lüftungsgeräte zu laut seien. Hohe Zustimmung wurde allerdings auch zur Aussage abgegeben, dass man sich darüber ärgert, dass die Fenster wegen des Lärms geschlossen werden müssen. Dieses Ergebnis steht im Einklang zu den Ergebnissen anderer auf Straßenverkehrs- und Fluglärm bezogener Wirkungsstudien [31], [32].



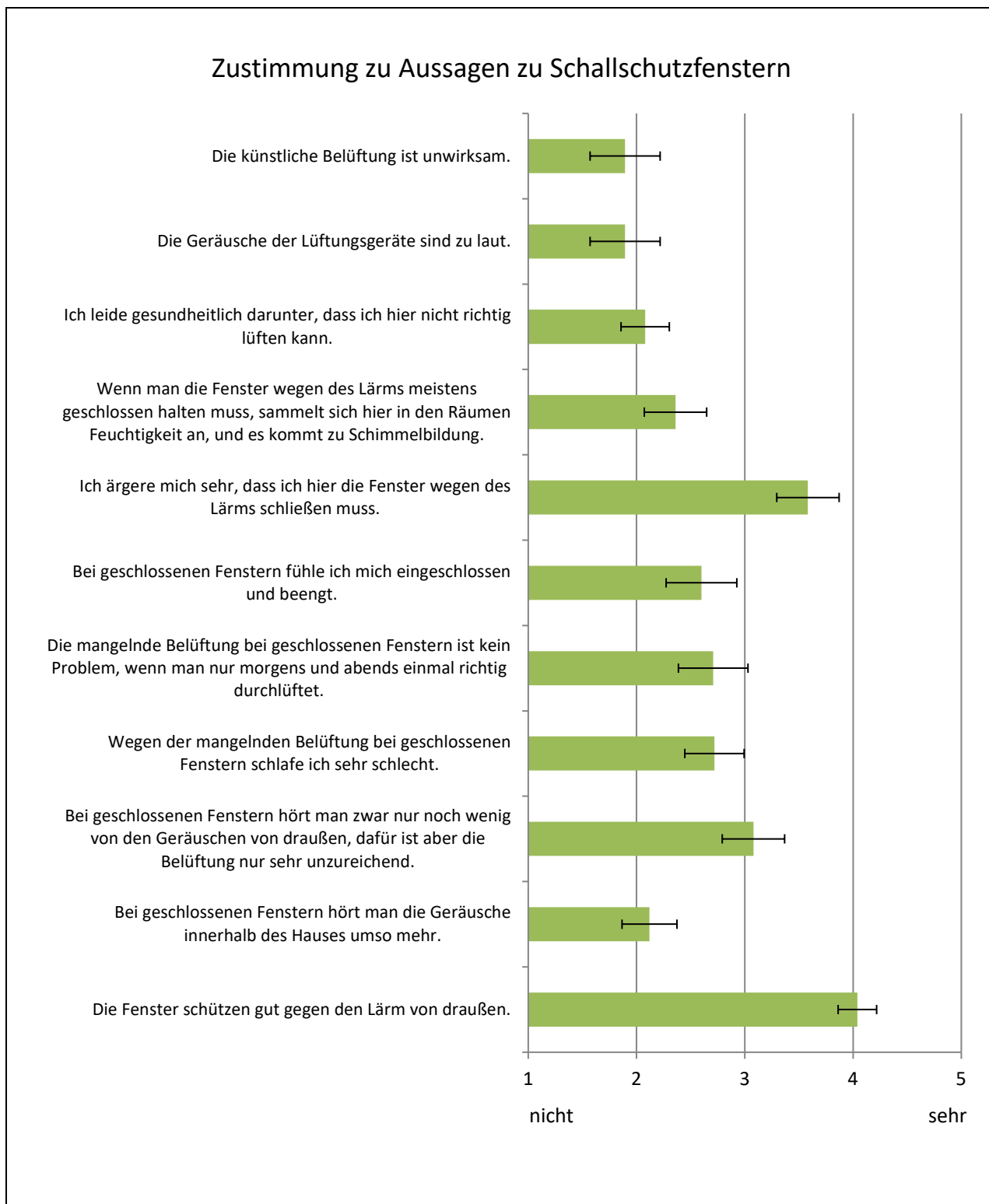


Abbildung 50: Einschätzung zu Aussagen zur Wirkung von Schallschutzfenstern in Fulda (N = 25)

## 4.2.5 Der Einfluss von nicht-akustischen Faktoren beim Schienenverkehrslärm

In der Lärmwirkungsforschung zeigt sich immer wieder, dass die reinen akustischen Parameter nicht allein die Lärmbelästigung erklären können. Vielmehr spielen nicht-akustische Faktoren wie Einstellungen, Vertrauensmaße oder auch Persönlichkeitsmerkmale wie Lärmempfindlichkeit oder Coping-Vermögen<sup>5</sup> eine Rolle. In dieser Analyse werden solche nicht-akustischen Faktoren betrachtet, bei denen von Seiten der Verantwortlichen Einfluss genommen werden kann, darunter fällt das wahrgenommene Lärmschutzmanagement von Akteuren und Akteurinnen und die Einstellung zum Bahnverkehr.

Die Einstellung zum Bahnverkehr wurde mittels vier Einzelfragen (Items) abgefragt [33]. Diese beziehen sich darauf, inwiefern Bahnverkehr als (1) nützlich, (2) gefährlich, (3) bequem für Nutzer und Nutzerinnen und (4) als schädlich für die Umwelt eingeschätzt wird. Für die Antwort wurde eine Zustimmungsskala von 1 (= *stimmt nicht*) bis 5 (= *stimmt sehr*) verwendet. Die Antworten zu diesen vier Fragen wurden zu einem Mittelwert-Score der Skala „Einstellung zum Bahnverkehr“ zusammengefasst. Dazu wurden die Fragen mit negativen Aussagen („schädlich für die Umwelt“ und „gefährlich für Sie“) rekodiert, sodass eine höhere Zustimmung auch hier eine positivere Wertung darstellte. Je höher der Mittelwert des Scores damit ausfiel, desto positiver war die Gesamteinstellung zum Bahnverkehr. Die interne Konsistenz (Reliabilität) dieser Einstellungsskala ist mit einem *Cronbachs Alpha* = .70 ausreichend hoch (vgl. Abschnitt 4.1.5 zur Erläuterung von *Cronbachs Alpha*). Abbildung 51 zeigt die Einstellung zum Bahnverkehr im Durchschnitt über die Untersuchungsgebiete hinweg. Im Schnitt ist die Einstellung zum Bahnverkehr über die Gebiete recht positiv einzuschätzen mit durchgehenden Werten über 3 (mittelmäßig).

Abbildung 52 zeigt die Analyse der einzelnen Einstellungsitems getrennt nach Art der Schallschutzmaßnahme. In der Stichprobe der Schienenstegdämpfer wurde der Bahnverkehr im Schnitt als schädlicher für die Umwelt und schädlicher für die eigene Person eingeschätzt als in den anderen Stichproben. Die geringste Zustimmung zu diesen Aussagen findet sich bei der Stichprobe mit der Gabionenwand. Gleichsam schätzen Personen der Stichproben der Gabionenwand sowie der passiven Schallschutzmaßnahmen den Bahnverkehr im Schnitt eher als bequem für Nutzende ein sowie als nützlicher als die anderen Stichproben.

Wird der Gesamtmittelwert der Skala „Einstellung zum Bahnverkehr“ zwischen den Stichproben unterschiedlicher Schallschutzarten verglichen, so zeigt sich eine signifikant positivere Einstellung zum Bahnverkehr bei der Stichprobe mit Gabionenwand ( $M = 4,6$ ;  $SD = 0,4$ ), die geringste Einstellung findet man dagegen bei der Stichprobe mit Schienenstegdämpfer ( $M = 3,6$ ;  $SD = 0,8$ ) ( $F(3,483) = 33,884$ ;  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .18$ ).

---

<sup>5</sup> Coping-Vermögen, auch Bewältigungsvermögen genannt, ist die Gesamtheit der Bemühungen einer Person, mit Anforderungen, anspruchsvollen Situationen und Stress umzugehen und diese Belastungen zu bewältigen.

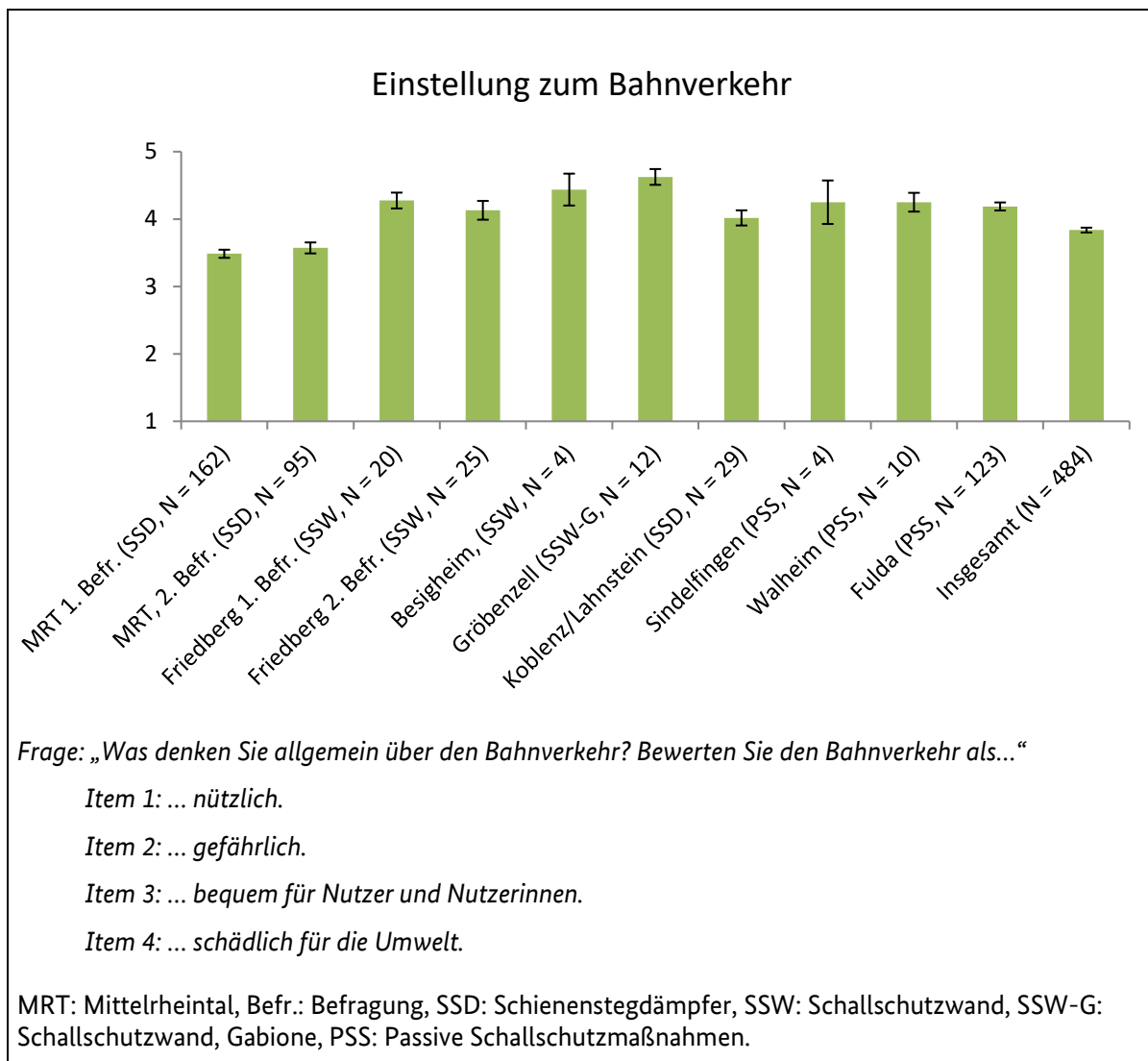


Abbildung 51: Einstellung zum Schienenverkehr im Vergleich zwischen den Untersuchungsgebieten, Vergleich des Scorewerts, gebildet aus vier Items (hohe Werte = positivere Einstellung)

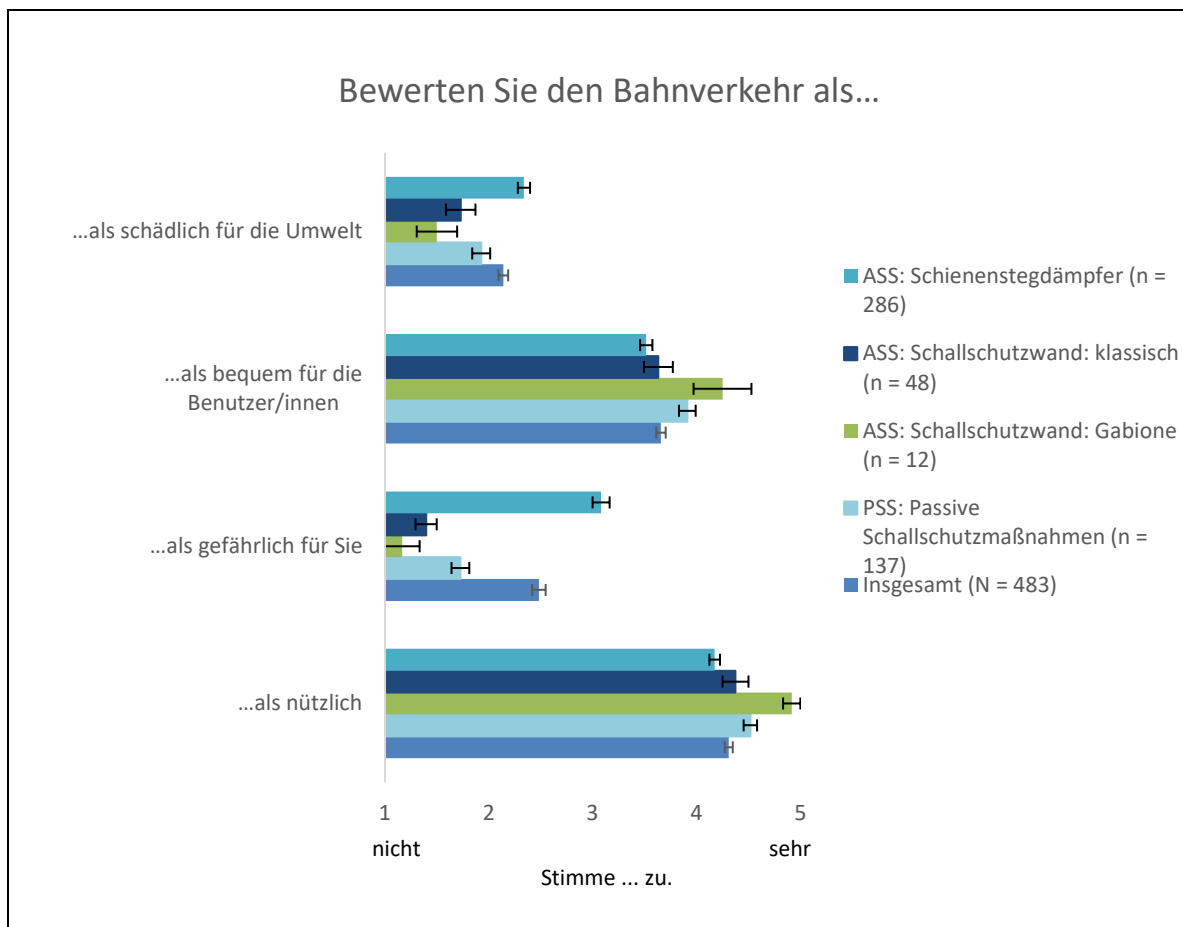


Abbildung 52: Einstellung zum Bahnverkehr getrennt nach Art der Schallschutzmaßnahme

Das wahrgenommene Lärmschutzengagement von als verantwortlich wahrgenommenen Akteuren und Akteurinnen wurde mit fünf Fragen abgefragt, die sich auf die folgenden Verantwortlichen beziehen, die unterschiedlichen Einfluss auf Aspekte des Schienenverkehrs haben: Hersteller von Zügen, die Deutsche Bahn AG, regionale Verkehrsunternehmen (ÖPNV), kommunale Behörden und die Bundesregierung. Zu jeder dieser Institutionen wurde gefragt, wie sehr sich die Institution darum bemüht, die Belästigung der Bevölkerung durch Schienenverkehrslärm zu mindern. Die Befragten konnten dies anhand einer Ratingskala von 1 (*bemüht sich nicht*) bis 5 (*bemüht sich sehr*) beantworten. Die Antworten wurden zu einem Mittelwert zusammengefasst, der den Grad des wahrgenommenen Lärmschutzengagements von Akteuren und Akteurinnen widerspiegelt. Um die interne Konsistenz der Skala „Wahrgenommenes Lärmschutzengagement der Akteure/Akteurinnen“ (insgesamt 5 Fragen) zu bestimmen, wurde *Cronbachs Alpha* berechnet. Die interne Konsistenz war hoch, mit *Cronbachs Alpha* = .84 für die Skala „Wahrgenommenes Lärmschutzengagement der Akteure/Akteurinnene“. Daher konnte für diese Skala ein zusammenfassender Mittelwerts-Skalenscore gebildet werden.

Abbildung 53 zeigt das wahrgenommene Lärmschutzengagement von Akteuren und Akteurinnen nach Untersuchungsgebieten getrennt. Besonders niedrig fällt das wahrgenommene Lärmschutzengagement im Mittelrheintal (Schienenstegdämpfer) aus. Anmerkungen in der Befragung zu den neu implementierten Schallschutzmaßnahmen im Mittelrheintal deuten darauf hin, dass auch Schallschutzwände in Planung sind. Deren bauliche Umsetzung ist bisher jedoch noch nicht erfolgt. Dies deutet daraufhin, dass die Menschen dort durch kommunizierte, aber noch im Planungsprozess befindliche Maßnahmen einen Vertrauensverlust erleben.

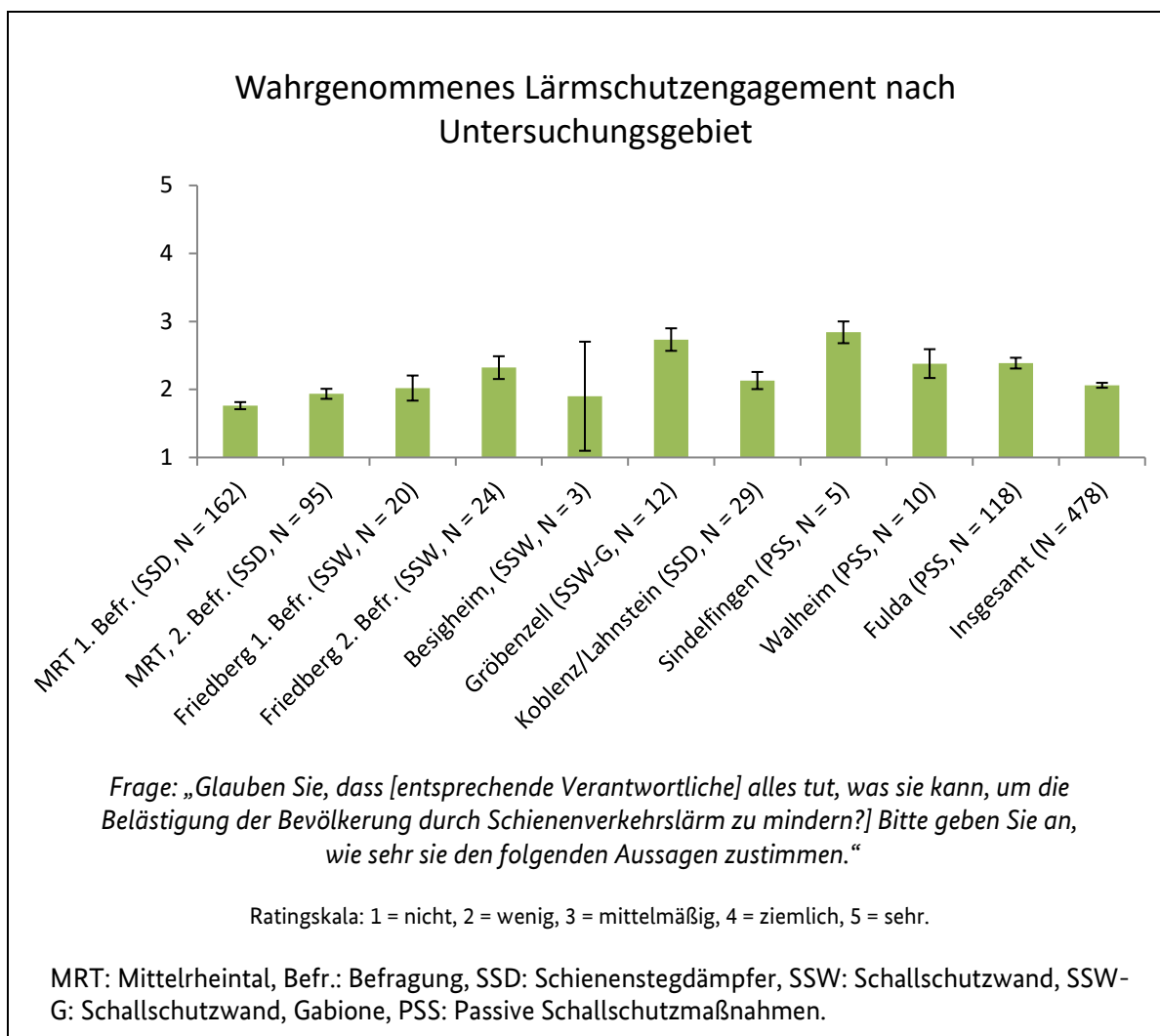


Abbildung 53: Wahrgenommenes Lärmschutzengagement der Akteure und Akteurinnen nach Untersuchungsgebieten

Weiterhin wurde analysiert, ob es Unterschiede im wahrgenommenen Lärmschutzengagement in Abhängigkeit von der Art der Schallschutzmaßnahme gibt. Im Schnitt wird das wahrgenommene Engagement mit durchschnittlichen Werten zwischen  $M = 1,86$  und  $M = 2,73$  eher gering eingeschätzt (ein Wert von 2 bedeutet *wenig* und ein Wert von 3 *mittelmäßig* hohes wahrgenommenes Engagement). Es zeigt sich, dass sich die Höhe des wahrgenommenen Lärmschutzengagements zwischen den Gebieten mit unterschiedlichen Schallschutzmaßnahmen signifikant unterscheidet ( $F(3,482) = 20,690; p < .001, \eta^2 = .115$ ) (Abbildung 54). Das wahrgenommene Engagement ist dabei in der Stichprobe mit der Gabionenwand deutlich höher als in Gebieten in denen Schienenstegdämpfer implementiert wurden bzw. vorgesehen sind.

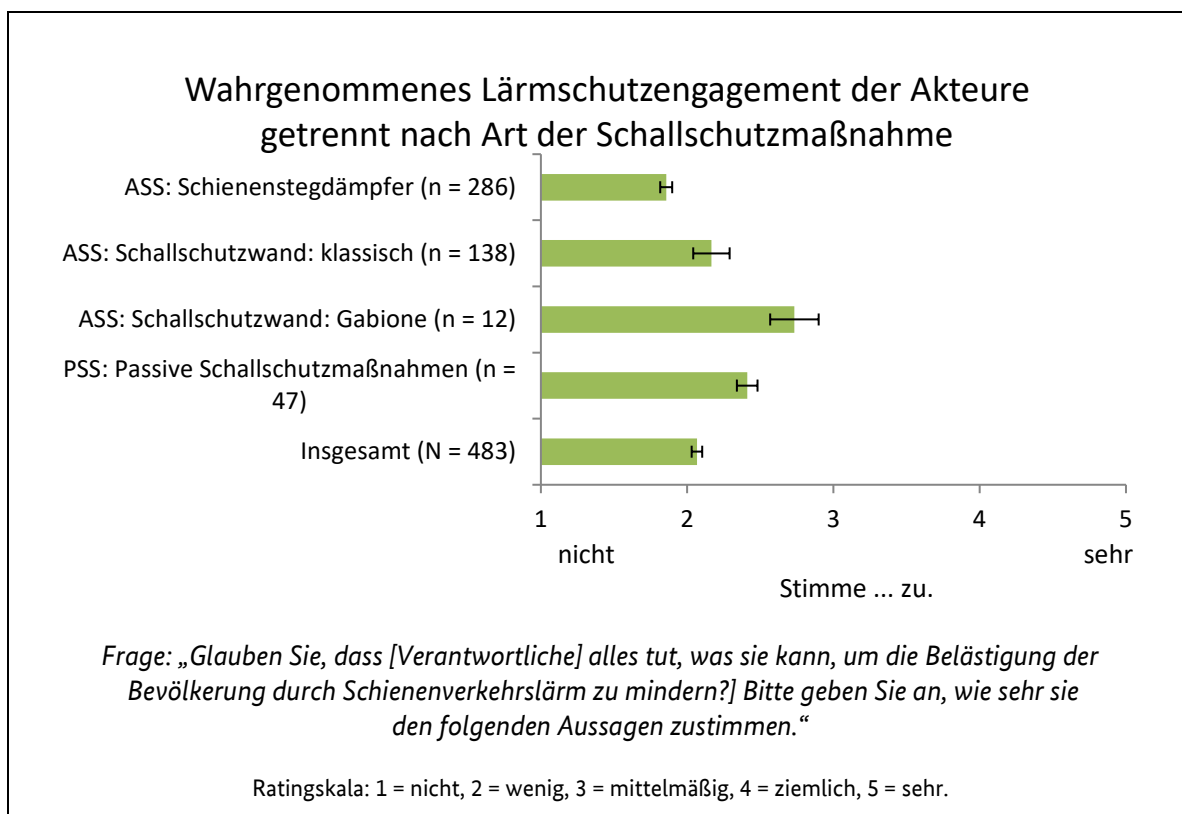


Abbildung 54: Wahrgenommenes Lärmschutzengagement der Akteure/Akteurinnen für Schienenverkehr im Vergleich zwischen Art der Schallschutzmaßnahmen

Das durchschnittliche Vertrauen in die einzelnen Verantwortlichen ist je Gebiet in den Abbildung 55 bis Abbildung 59 dargestellt. Das Vertrauen in die Hersteller von Zügen zeigt Abbildung 55. Zwischen den Gebieten fällt das Vertrauen signifikant unterschiedlich aus ( $F(9,431) = 4,942, p < .001, \eta^2 = .095$ ). Ein geringeres Vertrauen in Hersteller von Zügen zeigt sich im Mittelrheintal, während in Gröbenzell und Sindelfingen das Vertrauen höher ausfällt.

Das durchschnittliche wahrgenommene Lärmschutzengagement der Akteure und Akteurinnen getrennt nach Verantwortlichen ist je Gebiet in den Abbildung 55 bis Abbildung 59 dargestellt. Das wahrgenommene Lärmschutzengagement der Hersteller von Zügen zeigt Abbildung 55. Zwischen den Gebieten fällt das wahrgenommene Engagement signifikant unterschiedlich aus ( $F(9,431) = 4,942, p < .001, \eta^2 = .095$ ). Ein geringeres wahrgenommenes Engagement der Hersteller von Zügen zeigt sich im Mittelrheintal, während in Gröbenzell und Sindelfingen das wahrgenommene Engagement höher ausfällt.

Das wahrgenommene Engagement der Deutsche Bahn AG ist in Abbildung 56 dargestellt. Es zeigt sich, dass sich die Höhe des wahrgenommenen Engagements zwischen den Gebieten mit unterschiedlichen Schallschutzmaßnahmen signifikant unterscheidet ( $F(9,430) = 14,147, p < .001, \eta^2 = .232$ ). Das höchste wahrgenommene Engagement zeigt sich in Sindelfingen, während es im Mittelrheintal und Besigheim recht gering ist.

Das wahrgenommene Lärmschutzengagement der regionalen Verkehrsunternehmen zeigt Abbildung 57. Hier finden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gebieten ( $F(9,423) = 1,325, p = .221, \eta^2 = .028$ ).

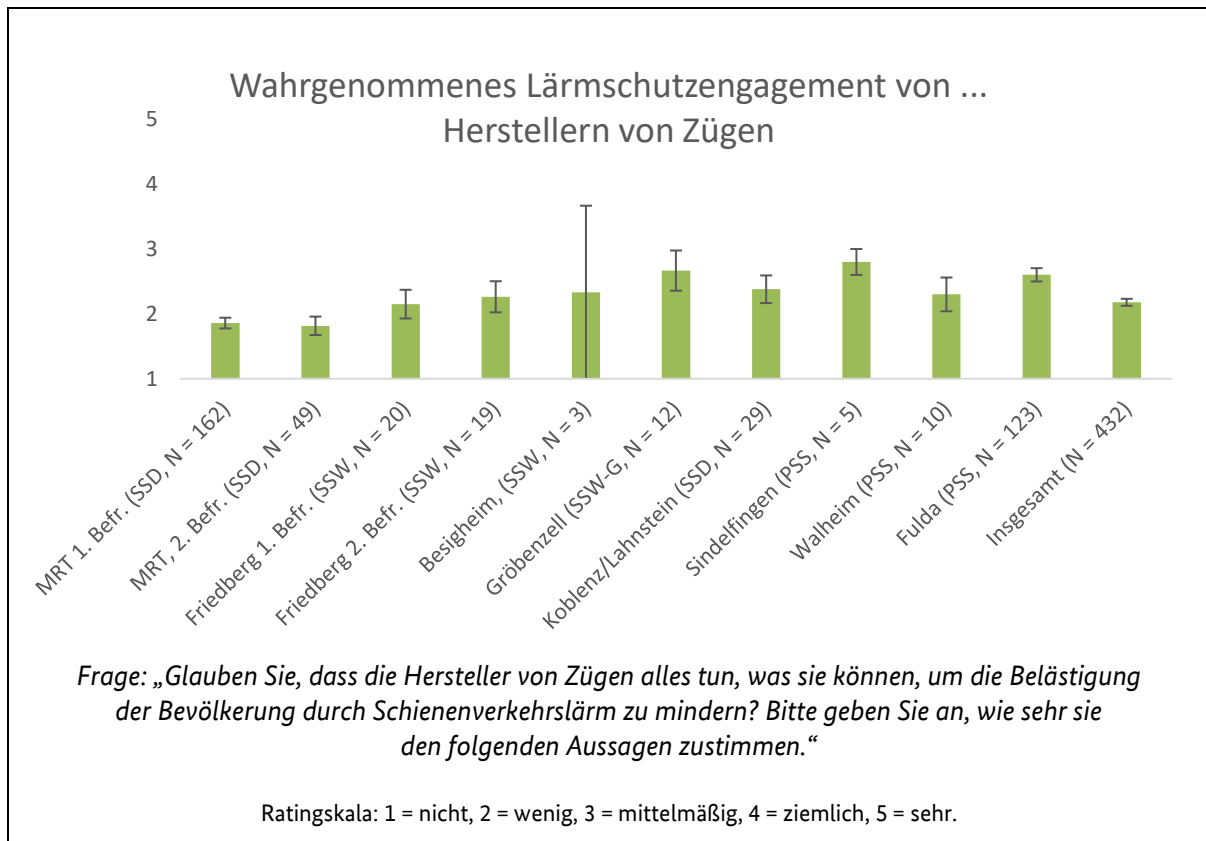


Abbildung 55: Wahrgenommenes Lärmschutzengagement der Hersteller von Zügen getrennt nach Untersuchungsgebieten

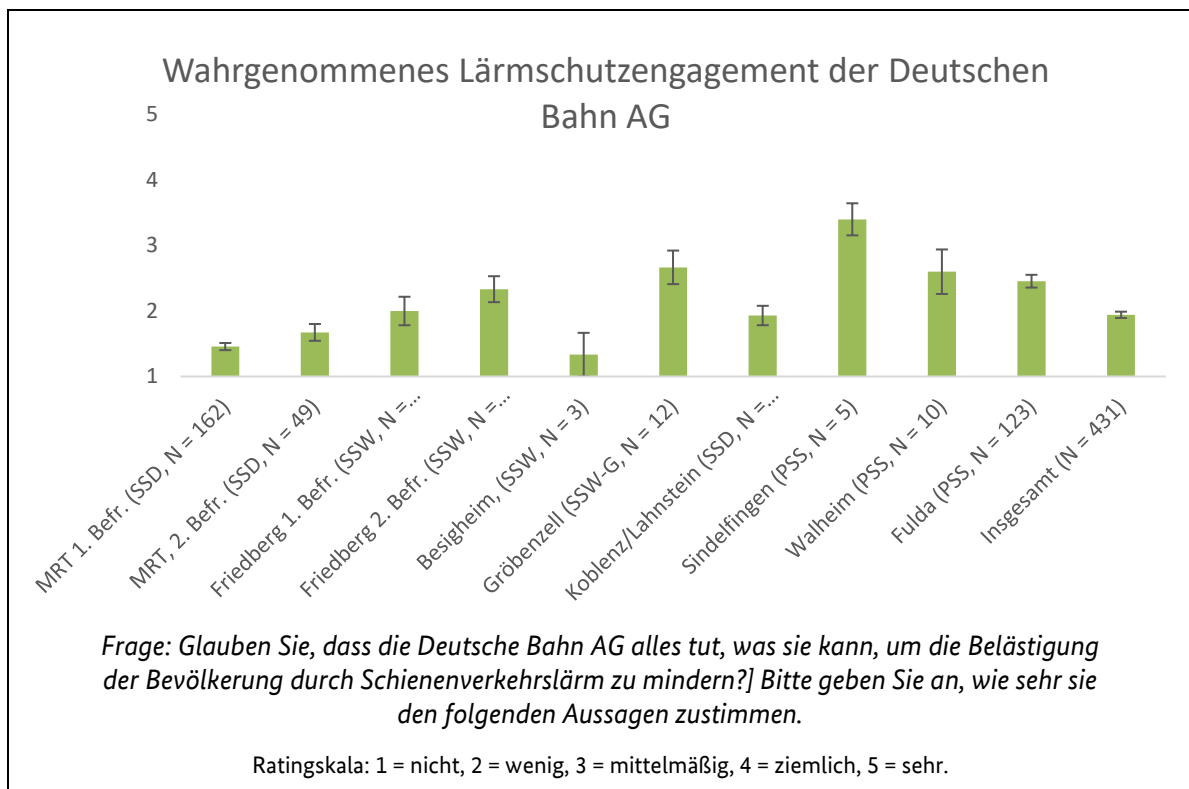


Abbildung 56: Wahrgenommenes Lärmschutzengagement von der Deutsche Bahn AG nach Untersuchungsgebieten

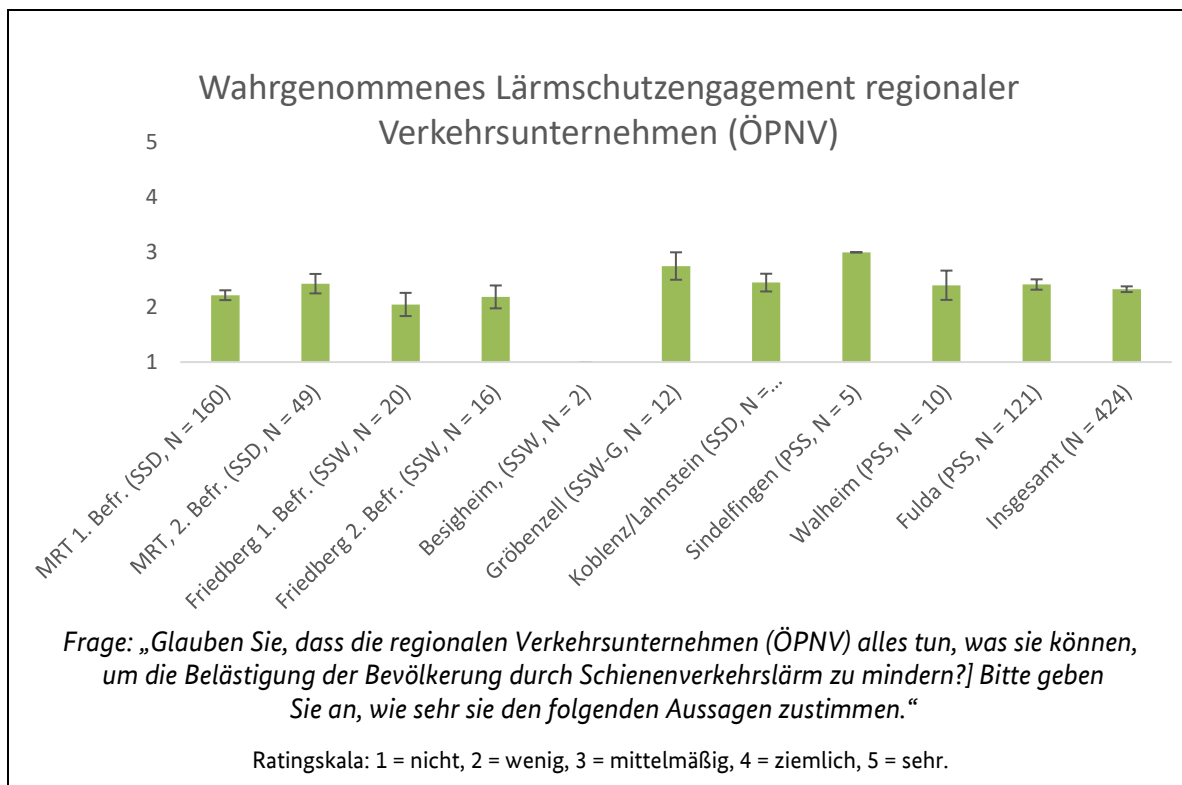


Abbildung 57: Wahrgenommenes Lärmschutzengagement von regionalen Verkehrsunternehmen (ÖPNV) nach Untersuchungsgebieten

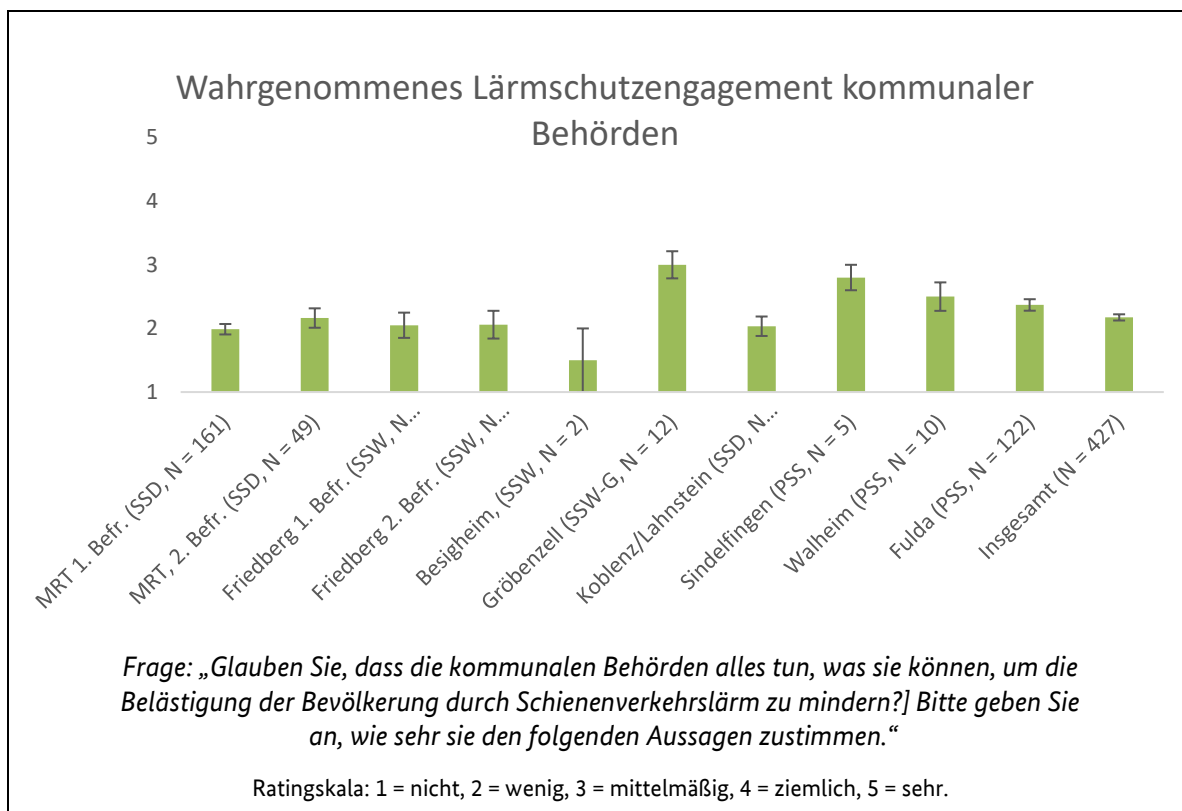


Abbildung 58: Wahrgenommenes Lärmschutzengagement der kommunalen Behörden nach Untersuchungsgebieten



Das wahrgenommene Lärmschutzengagement von kommunalen Behörden getrennt nach Untersuchungsgebieten ist in Abbildung 58 dargestellt. Es zeigen sich signifikante Unterschiede im wahrgenommenen Lärmschutzengagement der Akteure und Akteurinnen zwischen den Gebieten ( $F(9,426) = 2,665$ ,  $p < .01$ ,  $\eta^2 = .054$ ). Ein höheres wahrgenommenes Engagement (bei etwa 3, *mittelmäßig*) findet sich in Gröbenzell und Sindelfingen, in den Gebieten Mittelrheintal und Friedberg liegt das durchschnittliche wahrgenommene Engagement der Akteure und Akteurinnen eher bei 2, also *wenig*. Das wahrgenommene Lärmschutzengagement der Bundesregierung beim Thema Schienenverkehrslärm getrennt nach Untersuchungsgebieten zeigt sich in Abbildung 59. Auch hier zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen den Gebieten ( $F(9,428) = 428$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .217$ ). So ist das wahrgenommene Lärmschutzengagement im Mittelrheintal und in Friedberg besonders gering, in Gröbenzell jedoch etwas höher.

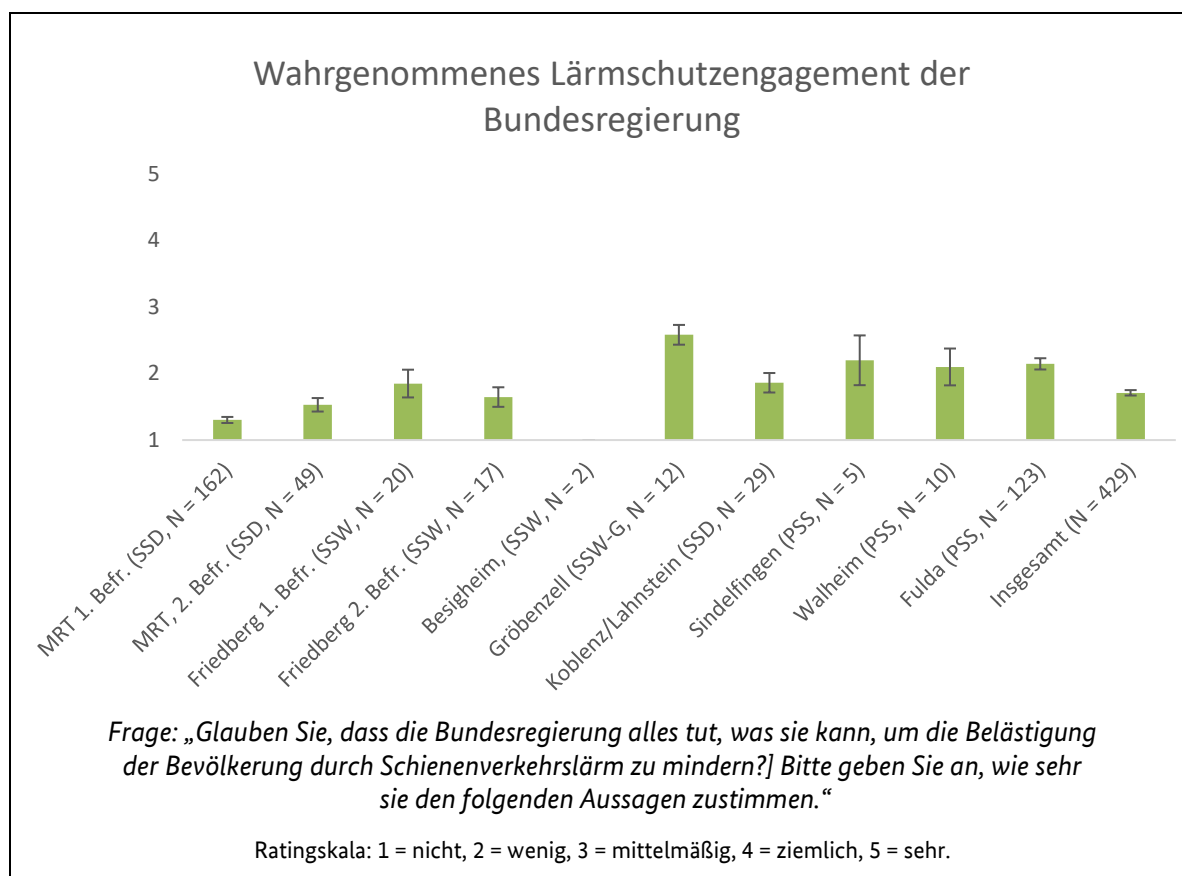


Abbildung 59: Wahrgenommenes Lärmschutzengagement der Bundesregierung nach Untersuchungsgebieten

#### 4.2.6 Korrelationen/Zusammenhänge von Wirkungsindikatoren Belästigung, Schlafstörungen, Zufriedenheitswertungen der Maßnahmen und nicht-akustischen Faktoren

Es wurden die statistischen Zusammenhangsmaße (Korrelationskoeffizienten) für Wirkungsindikatoren Belästigung, Schlafstörung sowie Zufriedenheit mit den Schallschutzmaßnahmen und nicht-akustischen Faktoren, die für die Lärmbelästigung eine Rolle spielen, analysiert: Einstellung zur Quelle und wahrgenommenes Lärmschutzengagement der Akteure und Akteurinnen. Tabelle 9 zeigt die Korrelationskoeffizienten. Korrelationskoeffizienten bewegen sich zwischen +1 und -1. Je näher sich der Koeffizient an +1 bewegt, desto stärker ist der positive Zusammenhang. Gleiches gilt in die andere Richtung; je näher

sich der Koeffizient Richtung -1 bewegt, desto stärker ist der negative Zusammenhang. Vorliegend zeigen sich negative Zusammenhänge zwischen den Wirkungsindikatoren Belästigung und Schlafstörung mit der Zufriedenheit mit Schallschutzmaßnahmen. Je stärker die Belästigung durch Schienenverkehrslärm ist, desto geringer ist die Zufriedenheit mit Schallschutzmaßnahmen ( $r = -0.60$ ;  $p < .001$ ). Ebenfalls zeigt sich dies für Schlafstörungen: je stärker sich die Befragten beim Schlafen durch Schienenverkehrslärm gestört gefühlt haben, desto geringer fällt deren Zufriedenheit mit den Schallschutzmaßnahmen aus ( $r = -0.62$ ;  $p < .001$ ).

Belästigung durch Schienenverkehrslärm korreliert weiterhin mit der Einstellung, dass Bahnverkehr gefährlich sei. Ein Anstieg in der Belästigung geht demnach mit einer stärkeren Überzeugung, dass Bahnverkehr gefährlich sei, einher ( $r = 0.61$ ,  $p < .001$ ). Dies zeigt sich auch bei den Schlafstörungen durch Schienenverkehrslärm ( $r = 0.68$ ;  $p < .001$ ).

Ein wichtiges Ergebnis ist, dass negative Zusammenhänge zwischen Belästigung durch Schienenverkehr respektive Schlafstörungen durch Schienenverkehrslärm und wahrgenommenes Lärmschutzengagement der Akteure und Akteurinnen bestehen: Mit der Stärke der Belästigung durch Schienenverkehrslärm sinkt die Höhe des wahrgenommenen Lärmschutzengagements der Akteure und Akteurinnen ( $r = -0.50$ ;  $p < .001$ ). Auch mit einem Anstieg von Schlafstörungen durch Schienenverkehrslärm geht eine Reduktion des wahrgenommenen Lärmschutzengagements der Akteure und Akteurinnen einher ( $r = -0.50$ ;  $p < .001$ ).

Insgesamt zeigen sich Zusammenhänge zwischen den Wirkungsindikatoren Belästigung und Schlafstörungen untereinander sowie zwischen den Wirkungsindikatoren und nicht-akustischen Faktoren. Daraus lässt sich jedoch keine Kausalität ableiten. Das heißt, es lässt sich nicht anhand der Korrelationen erkennen, ob die Einstellungen zur Belästigung und den Schlafstörungen beitragen oder umgekehrt, ob die Einstellung und das wahrgenommene Lärmschutzengagement der Akteure und Akteurinnen durch die Belästigung und berichteten Schlafstörungen bedingt sind. Auch reziproke Beziehungen können vorliegen. Eine Untersuchung zu den Effekten einer Flughafen-Erweiterung auf die Reaktionen zum Fluglärm ist dieser Frage nachgegangen und kommt zu dem Schluss, dass die Beziehungen zwischen der Lärm-belästigung und Einstellungen reziprok sind [33]. Dabei konnte eine Dynamik in den Beziehungen aufgezeigt werden: Während in einer Bestandssituation die Lärm-belästigung die Einstellungen zur Lärmquelle und das wahrgenommene Lärmschutzengagement der Akteure und Akteurinnen stärker zu beeinflussen scheint als umgekehrt, gewinnt in einer Phase bevorstehender angekündigter Veränderungen (in der Studie [33]: Bau einer neuen Landebahn) das wahrgenommene Lärmschutzengagement der Akteure und Akteurinnen an Gewicht im Einfluss auf die spätere Lärm-belästigung nach Eintritt der Veränderung.

## 4.2.7 Kommunikation von und Informationen über die Maßnahmen

Die Einbindung (Partizipation) bei und Unterrichtung über Veränderungen in ihrer Umgebung kann Menschen ein Gefühl von Kontrolle (hier: über die Schienenverkehrslärmsituation) geben. Solche Faktoren können eine Rolle dabei spielen, wie stark sich jemand durch Lärm belästigt fühlt. Neben der Bewertung von Schallschutzmaßnahmen wurden die Befragten daher gebeten, die Kommunikation zur Planung und Implementierung der Schallschutzmaßnahmen zu bewerten und die Zufriedenheit mit Informationen und Kommunikation einzuschätzen. Die Fragen über die Kommunikation und Information über die Maßnahmen wurde nur denjenigen Teilnehmenden gestellt, in deren Umgebung bereits Maßnahmen implementiert wurden.



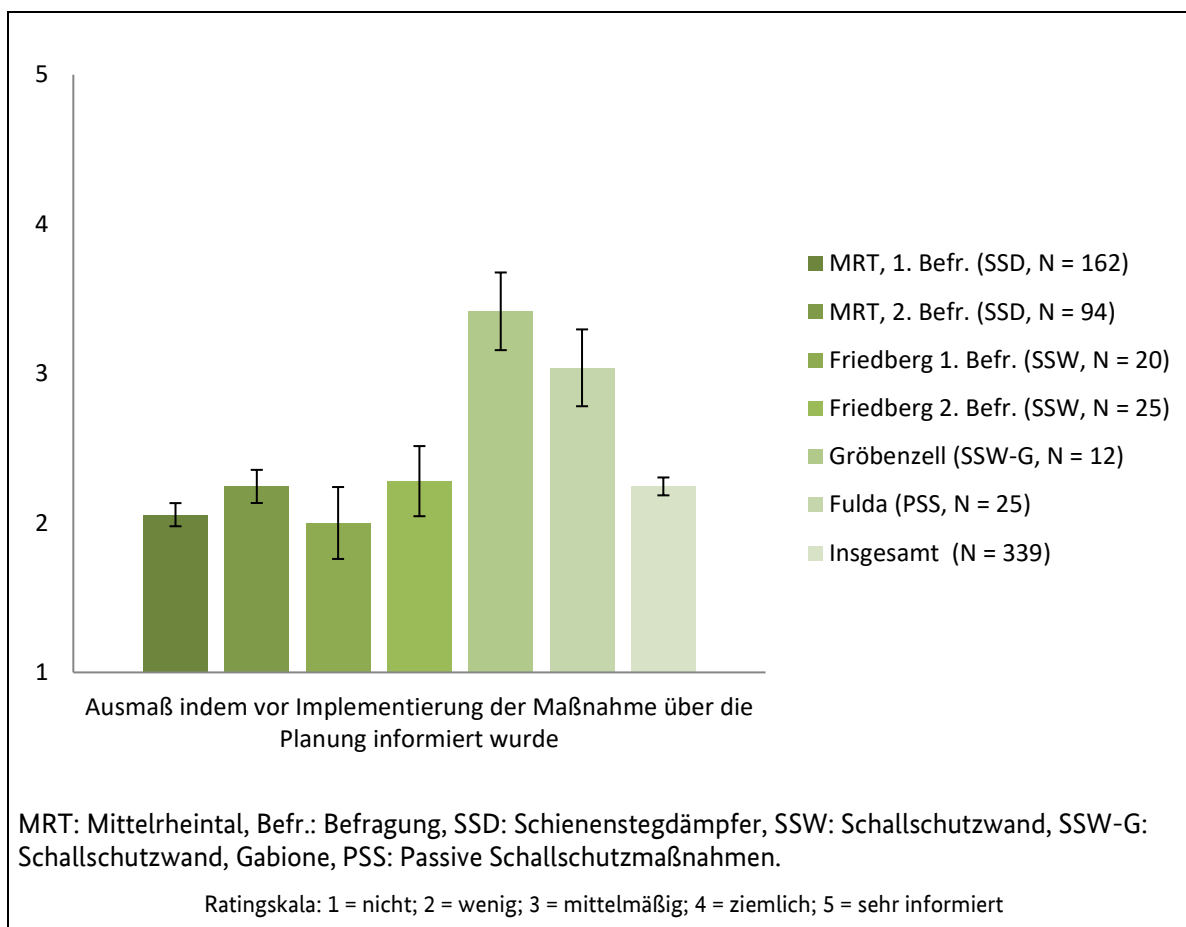


Abbildung 60: Bewertung des Ausmaßes der Informiertheit vor Implementierung der Maßnahme über die Planung der Maßnahme

Zunächst wurde gefragt, in welchem Ausmaß vor der Implementierung der Schallschutzmaßnahme über die Planungen an der Bahnstrecke informiert worden sei. Die Frage konnte auf einer fünfstufigen Skala von (1) *nicht informiert* bis (5) *sehr informiert* beantwortet werden. Im Mittelrheintal (Schienenstegdämpfer) und Friedberg (Schallschutzwand) ist die Einschätzung über die Informiertheit relativ niedrig, in Gröbenzell (Gabionenwand) und Fulda (passiver Schallschutz) wird die Informiertheit mit mittleren Werten zwischen 3 (*mittelmäßig*) und 4 (*ziemlich*) deutlich höher eingeschätzt (Abbildung 60).

Gefragt nach den Informationsquellen, aus denen die Befragten über die Schallschutzmaßnahme erfahren haben, wurden überwiegend Gespräche mit Freunden, Nachbarn oder Bekannten oder örtliche Medien als Quelle angegeben (Abbildung 61). Bei dieser Frage war eine Mehrfachauswahl möglich. Zusätzlich gab es die Möglichkeit, im Feld „Sonstiges“ weitere Quellen zu nennen, über welche die befragten Personen über die Schallschutzmaßnahme erfuhren: das waren Aushänge am Rathaus bzw. Plakate, über Bürgerinitiativen, über Informationsveranstaltungen der Bahn vor Ort, die von den Befragten teilweise als unzureichend vorbereitet wahrgenommen wurden, über Informationsflyer bzw. Briefpost mit Informationen von der Bahn sowie Informationen von Vermietern. Bei zukünftigen Befragungen könnte die Antwortmöglichkeit „Die Bahn“ als mögliche Informationsquelle abgefragt werden.

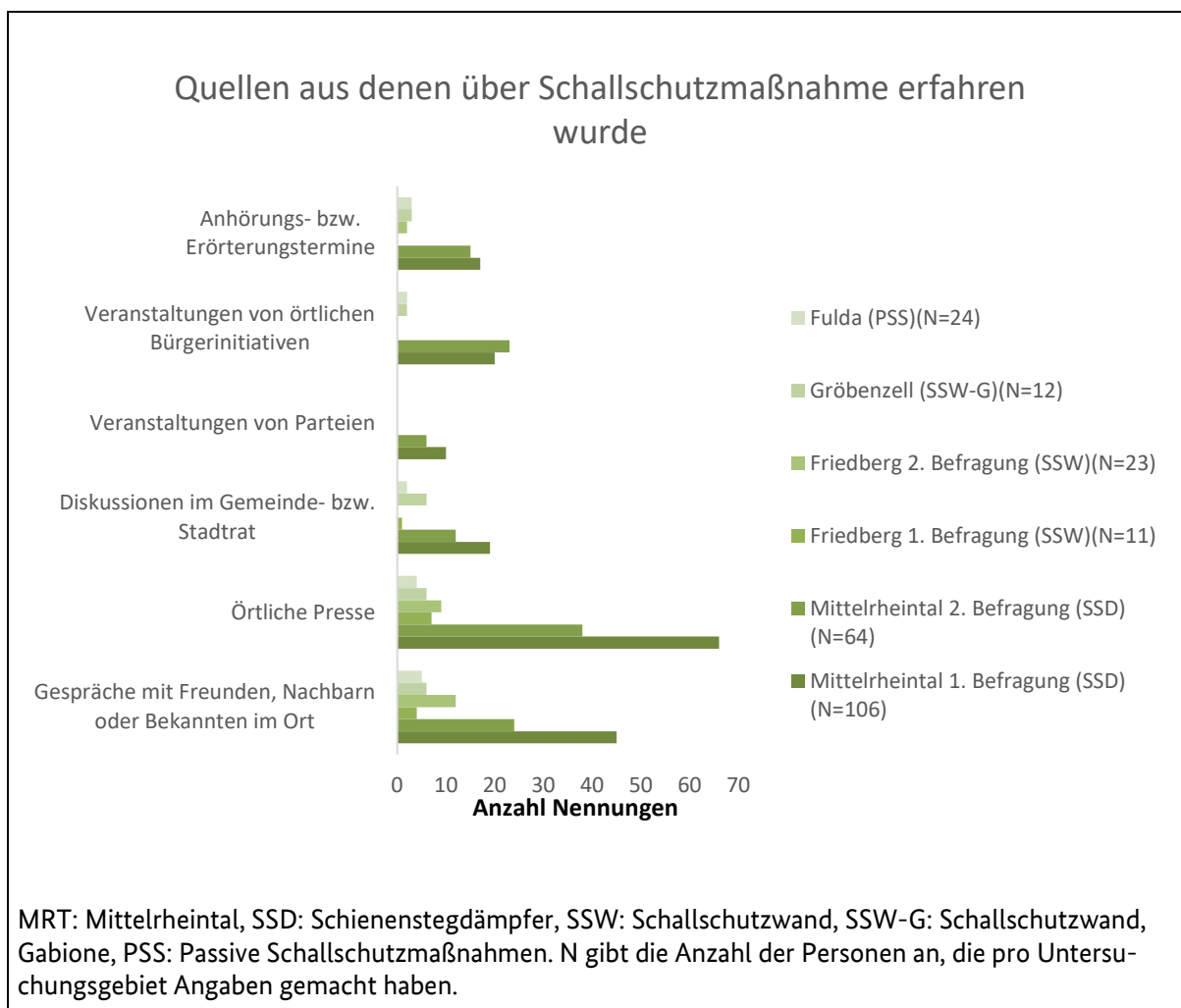


Abbildung 61: Übersicht über Quellen, aus denen Teilnehmende von Schallschutzmaßnahme erfahren haben. Mehrfachnennung war möglich.

Darüber hinaus wurde die Zufriedenheit mit der Art der Kommunikation über die Schallschutzmaßnahme sowie die Zufriedenheit mit den bereitgestellten Informationen erfasst. Diese wurden jeweils auf einer fünfstufigen Skala von (1) überhaupt nicht zufrieden bis (5) sehr zufrieden angegeben. Für die Zufriedenheit mit der Kommunikation zeigte sich, dass man in Gröbenzell (Gabionenwand) und Fulda (passiver Schallschutz) im Durchschnitt mittelmäßig zufrieden damit war (Abbildung 62). Im Mittelrheintal (Schienenstegdämpfer) und Friedberg (Schallschutzwand) fiel die Zufriedenheit geringer aus.

Bei der Zufriedenheit mit den bereitgestellten Informationen zeigte sich ein ähnliches Bild; die Zufriedenheit mit den Informationen war am höchsten in Gröbenzell (Gabionenwand) und Fulda (passiver Schallschutz) (Abbildung 63). Weniger zufrieden war man damit in Friedberg (Schallschutzwand) und im Mittelrheintal (Schienenstegdämpfer).

Um eigenen Ideen der Befragten genügend Raum zu geben, wurden sie gebeten zu benennen, was sie sich für die Kommunikation von Maßnahmen wünschen sowie welche Informationen konkret gewünscht sind. Dies resultierte in einer großen Anzahl an Rückmeldungen. Die offenen Angaben wurden analysiert und wo möglich in Kategorien zusammengefasst. Tabelle 26 zeigt eine Übersicht über die zusammengefassten Kategorien der Rückmeldungen getrennt nach Untersuchungsgebieten (siehe Anhang).

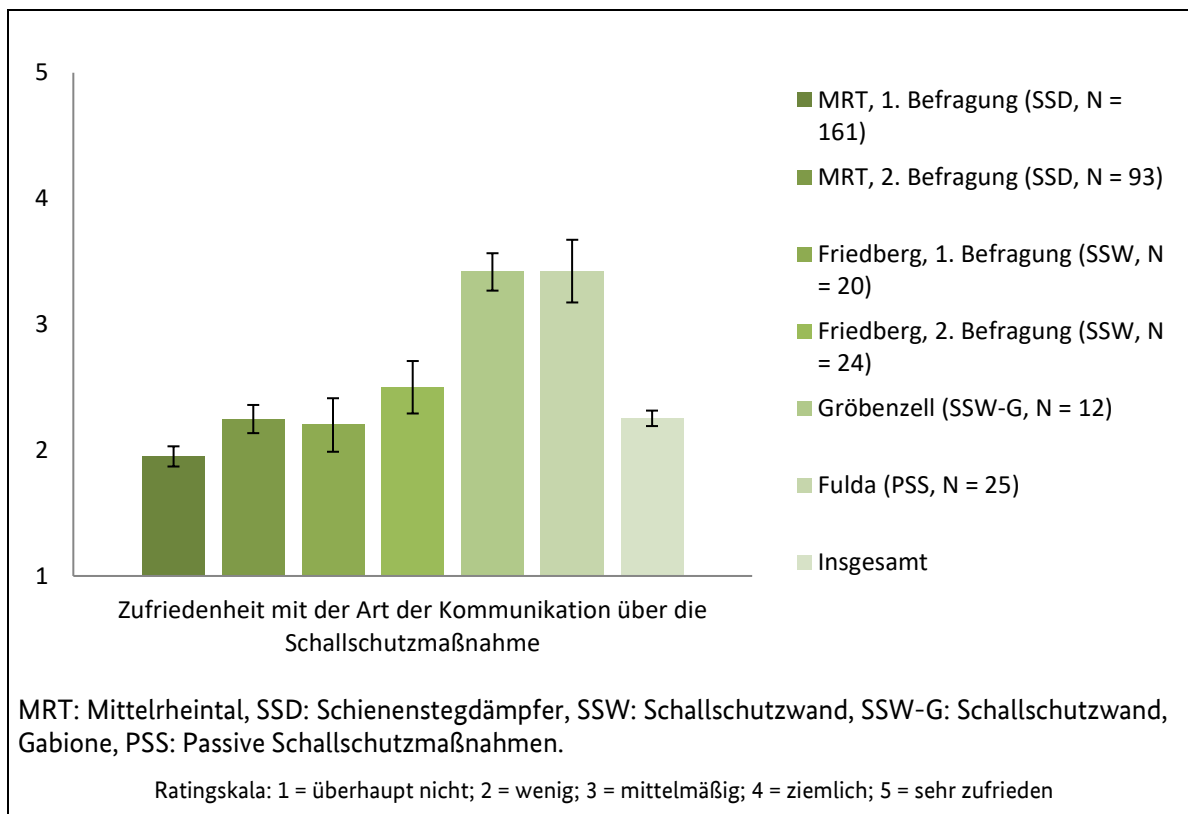


Abbildung 62: Zufriedenheit mit der Art der Kommunikation über die Schallschutzmaßnahme getrennt nach Untersuchungsgebieten

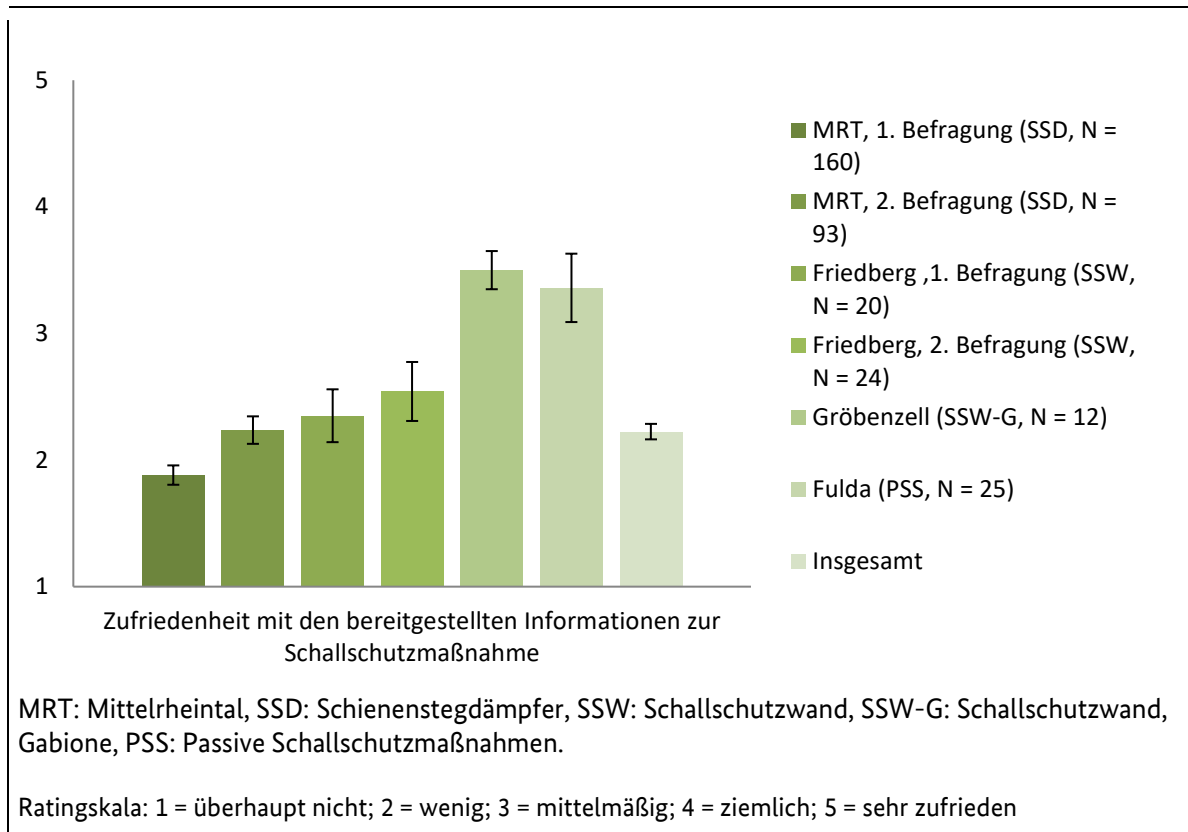


Abbildung 63: Zufriedenheit mit den bereitgestellten Informationen zur Schallschutzmaßnahme getrennt nach Untersuchungsgebieten

Im Mittelrheintal bezieht sich der Großteil der Angaben auf das Kommunikationsmedium, über das die Befragten Informationen erhalten möchten. Ein Großteil der Befragten möchte Informationen per Post erhalten, gefolgt von Informationen durch Informationsveranstaltungen, örtlichen Medien sowie digitalen Medien wie Apps oder per E-Mail. Vorschläge bezüglich des Inhalts beziehen sich auf Informationen zu (gesundheitlichen) Wirkungen durch Maßnahmen, zu Art, Zeitraum und Kosten von geplanten Maßnahmen sowie Berichten über die Ergebnisse der Implementierung. Darunter bezog sich eine Angabe darauf, dass sich die Planung der Maßnahmen zwischenzeitlich änderte, wodurch sich die Voraussetzung bei Anwohnenden und die damit verbundene Förderung von alternativen Schallschutzmaßnahmen änderte. So entstand der Eindruck, falsch informiert zu werden. Außerdem fordern einige Befragte gezielt Maßnahmen statt alternativer Kommunikationsmöglichkeiten. Hierbei werden Vorschläge wie z. B. Geschwindigkeitsbegrenzungen, Fahrverbote für laute (Güter-)Fahrzeuge sowie die Abschaffung von Ausnahmen für bestehende Strecken genannt.

In Friedberg (Schallschutzwand) wurden frühzeitige Informationen über Planungen gewünscht. Außerdem sprechen sich einige Befragte für mehr Partizipation im Implementierungsprozess aus sowie für die Möglichkeit, Ansprechpartner zu kontaktieren. Weiterhin gewünscht werden Informationen per Post sowie Informationsveranstaltungen zur geplanten Maßnahme. Weitere Angaben finden sich in der Tabelle 26.

Befragte in Gröbenzell (Gabionenwand) gaben an, dass der Standort (und damit Ende und Länge) der Schallschutzwand nicht kommuniziert wurden. Außerdem werden Informationen über die durchgeführten zugrundeliegenden Schallmessungen gewünscht. Es wurde außerdem angegeben, dass vormals eine andere Schallschutzmaßnahme geplant gewesen sei (Zuschuss von Schallschutzfenstern) und eine Änderung nicht kommuniziert worden sei.

In Fulda (passiver Schallschutz) wurde bemängelt, dass kontaktierte Vermietende die Informationen über die Planung der Schallschutzmaßnahmen nicht an die Mietenden weitergaben. Dies könnte einen Hinweis darauf liefern, warum diese Art des Schallschutzes selten in Anspruch genommen wird, obwohl er recht gut bewertet wird. Vermietende sind selbst nicht von dem Lärm in den Wohnungen betroffen und müssen selbst noch einen finanziellen Anteil leisten. Das macht die Investition für Vermietende auf den ersten Blick wenig attraktiv. Inhaltlich wurden mehr Informationen über Zeitraum und Art von geplanten Maßnahmen sowie über deren Finanzierung gewünscht.

Des Weiteren wurde gefragt, ob die Bevölkerung in die Planung der Schallschutzmaßnahmen einbezogen worden sei. Die Mehrheit der Befragten in allen Untersuchungsgebieten gaben bei dieser Frage an, sich nicht sicher zu sein (Abbildung 64). Nur ein kleiner Teil der Befragten über die Untersuchungsgebiete hinweg stimmte dieser Frage zu.

Daran anschließend wurden die Teilnehmenden danach befragt, wie wichtig es ihnen sei, in die Maßnahmen eingebunden zu sein (Abbildung 65). Die Einschätzung erfolgte auf einer fünfstufigen Skala von (1) *überhaupt nicht wichtig* bis (5) *sehr wichtig*. Über die Untersuchungsgebiete hinweg zeigte sich hier ein recht hoher Durchschnittswert (zwischen 3 = *mittelmäßig* und 4 = *ziemlich*) und zeigte damit, dass es Anwohnenden im Schnitt recht wichtig ist, in die Planung von Maßnahmen involviert zu werden.

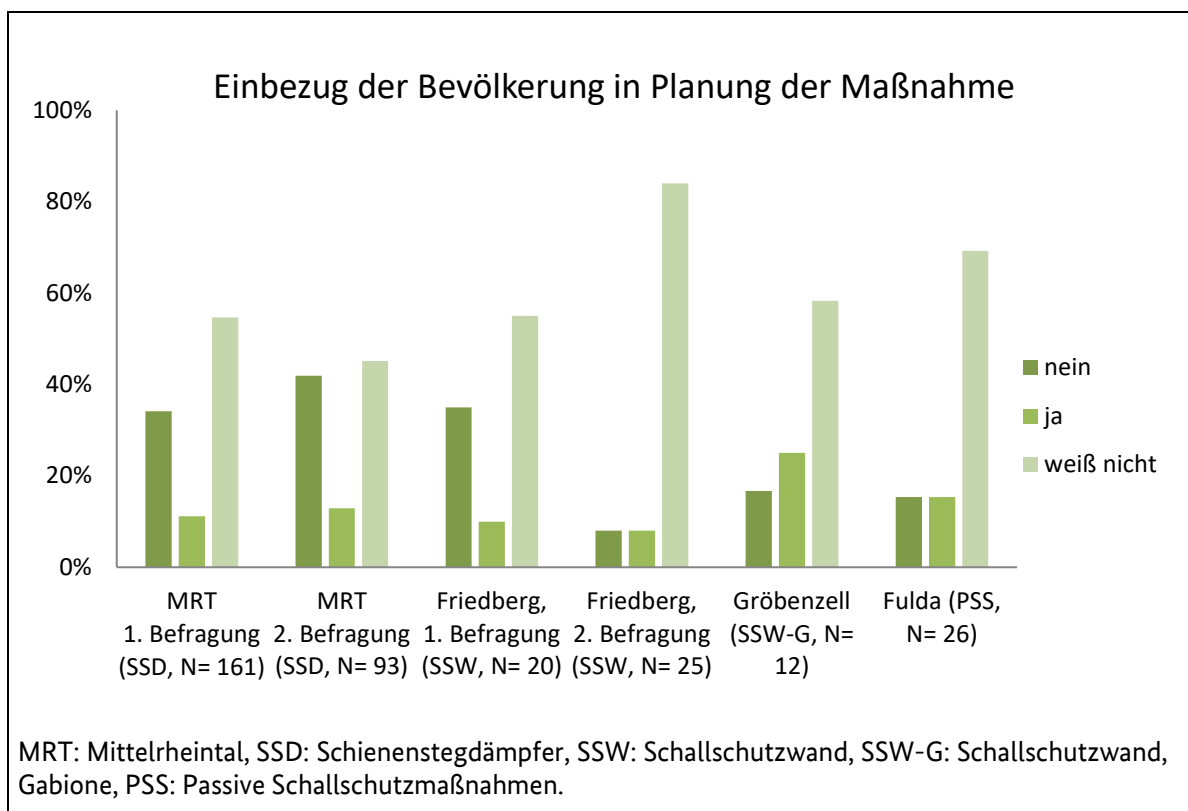


Abbildung 64: Beurteilung der Teilnehmenden ob die Bevölkerung in die Planung der Maßnahme einbezogen wurde

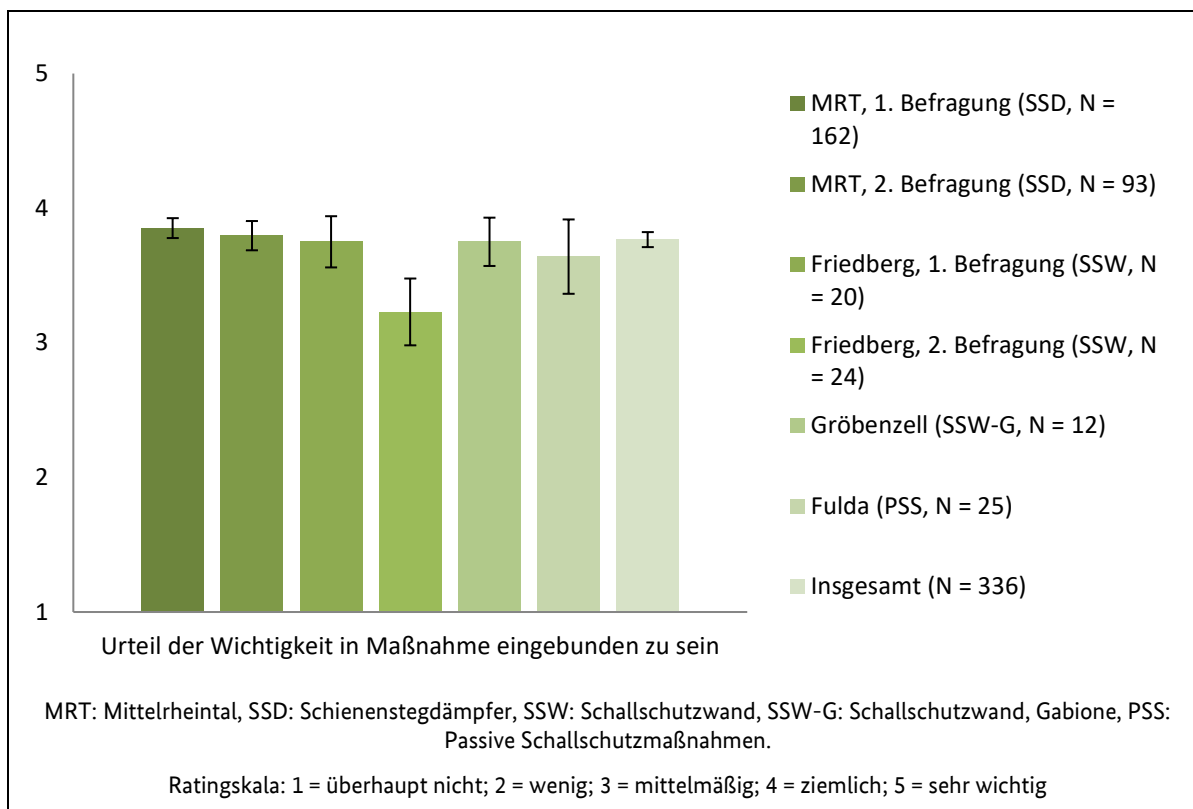


Abbildung 65: Einschätzung der Wichtigkeit in die Planung der Maßnahmen eingebunden zu sein dargestellt nach Untersuchungsgebieten.



## 4.2.8 Limitationen der psychologisch-sozialwissenschaftlichen Untersuchung

Üblicherweise gehen empirische Erhebungen mit Limitationen einher, das betrifft auch die vorliegende Befragungsstudie. In dieser Studie war die Größe der einzelnen Stichproben in manchen Untersuchungsgebieten sehr klein. Die ausgewählten Untersuchungsgebiete waren teilweise von vornherein räumlich begrenzt, da an manchen Orten lediglich an kurzen Streckenabschnitten Schallschutzmaßnahmen errichtet wurden. Somit war die Auswahlgrundgesamtheit, also die Anzahl exponierter Häuser und damit die in Frage kommenden Haushalte für die Befragung, gering. Die Responserate, also der Prozentsatz der angeschriebenen Personen, der an der Studie teilgenommen hat, liegt bei durchschnittlich 10 %. Diese Responserate liegt in einer für Onlinebefragungen, die ohne Erinnerungsschreiben und Incentives auskommen, üblichen Größenordnung. Dennoch hat die kleine absolute Stichprobengröße Auswirkungen auf die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse.

Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse auf alle entsprechenden Anwohnenden an bundesdeutschen Bahnstrecken, an denen die Implementierung von Schallschutzmaßnahmen stattgefunden hat bzw. vorgesehen ist, ist mit diesen Stichprobenzahlen nicht möglich. Allerdings ermöglichen die Ergebnisse einen Einblick in die Probleme, Hürden sowie Wahrnehmung, die in den untersuchten Gebieten mit Schallschutzmaßnahmen vorliegen. Es lassen sich Aussagen treffen über die Belästigung durch Schienenverkehr in den jeweiligen Gebieten sowie die Zufriedenheit mit den Schallschutzmaßnahmen. Die Befragungsergebnisse geben Einblick in Gründe für (Un-)Zufriedenheit mit den Schallschutzmaßnahmen, die die örtlichen Problemlagen in den Untersuchungsgebieten widerspiegeln. Die in der Untersuchung identifizierten Zusammenhänge zwischen den Reaktionen auf den Schienenverkehrslärm (Belästigung, Schlafstörungen) und der Zufriedenheit mit der jeweiligen Schallschutzmaßnahme sowie mit nicht-akustischen Faktoren wie die Einstellung zur Lärmquelle und das wahrgenommene Lärmschutzengagements der Akteure und Akteurinnen stehen im Einklang mit Befunden aus anderen Lärmwirkungsstudien (z. B. [31] - [33]). Außerdem geben die Ergebnisse Aufschluss über die Ansprüche und Wünsche von Anwohnenden von Schienenverkehrswegen an Kommunikation und Partizipation bei der Implementierung von Schallschutzmaßnahmen. Ebenfalls können daraus Empfehlungen für ein zukünftiges Vorgehen abgeleitet werden, die im besten Fall bei neuerlichen Implementierungen evaluiert werden.

In jedem der Untersuchungsgebiete liegen individuelle spezifische Gegebenheiten vor, die potentiell eine Rolle spielen für die Ausprägung von Lärmwirkungsfaktoren. Daher ist es wichtig, soweit möglich, weitere Einflussfaktoren mit zu erfassen, z. B. die Lärm- bzw. Schallschutzgeschichte des Untersuchungsgebiets. Deren Einfluss ist in Untersuchungen allerdings nicht immer vollumfänglich abschätzbar und kontrollierbar. Am Beispiel Mittelrheintal zeigt sich, dass es dort eine lange Geschichte an Schallschutzmaßnahmen für Schienenverkehrslärm gibt, deren Prozess mit einigen Änderungen einherging und dadurch eine recht komplexe Situation vorliegt, die wenig vergleichbar ist mit anderen Untersuchungsgebieten. Das Untersuchungsgebiet Mittelrheintal ist zudem für die hohe Anzahl an nächtlichem Güterverkehr bekannt. Die geringe akustische Minderung der Schallschutzmaßnahme „Schienenstegdämpfer“ (vgl. Abschnitt 4.3.5) trägt dazu bei, dass eine geringe Zufriedenheit mit der Schallschutzmaßnahme herrscht.

Durch die Konzeption der Untersuchung und die zur Verfügung stehenden Untersuchungsgebiete, in denen Implementierungen von Schallschutzmaßnahmen möglich waren, war in diesem Vorhaben keine klassische Vorher-Nachher-Untersuchung an einem Ort möglich. Dies wäre sinnvoll, um Abschätzungen darüber treffen zu können, welche Veränderungen in Wirkungsfaktoren (Belästigung, Schlafstörung) allein auf die Schallschutzmaßnahme zurückzuführen sind. Idealerweise wird bereits bei Planung der Schallschutzmaßnahme vor deren Implementierung die Evaluation der Wirkung dieser Maßnahme auf

die Anwohnende konzeptuell in die Planung einbezogen. Wirkung meint hier nicht die Reduktion der Geräuschbelastung in Dezibel, sondern den Effekt der Maßnahme auf die gesundheitsbezogenen und die Lebensqualität beeinflussenden Lärmwirkungen.

Weiterhin kann es Limitationen durch die Form der Adressgewinnung, die Rekrutierungsmethode sowie die Wahl des Befragungsmodus geben.

Eine Adressgewinnung über Einwohnermeldeämter bedeutet den Zugriff auf aktuelle und weitgehend vollständige Adressdaten der Bevölkerung innerhalb eines Untersuchungsgebiets. Diese Datenquelle ist kommerziellen Adressdienstleistern oder Telefonverzeichnissen in Bezug auf die Vollständigkeit und Qualität der Daten für wissenschaftliche Studien vorzuziehen. Wo einer Anfrage durch die Einwohnermeldeämter nicht nachgekommen werden konnte, musste in der vorliegenden Befragungsstudie als Alternativlösung auf öffentliche Telefonverzeichnisse zurückgegriffen werden. In Telefonverzeichnissen sind deutlich weniger Haushalte gelistet, die angeschrieben werden können, da zunehmend mehr Haushalte ihre Rufnummer nicht mehr eintragen lassen und/oder über keinen Festnetzanschluss verfügen. Zusätzlich erweisen sich diese Daten häufig als veraltet. Insgesamt wird damit der Rekrutierungserfolg geschmälert und im Vergleich zur Adressgewinnung über Einwohnermeldeämter gibt es eine deutlich höhere Zahl an nicht zustellbaren Briefsendungen.

Auch die Rekrutierungsmethode, also das Anschreiben von Haushalten per Post, kann Schwierigkeiten bereiten, da erhaltene Postsendungen von unbekanntem Absendern häufig nicht geöffnet werden. Allerdings gibt es für eine standortgenaue Rekrutierung bisher keine Alternativen, so können beispielsweise Social-Media-Aufrufe nur mit Einschränkung genutzt werden, wenn die Befragung standortabhängig ist.

In der vorliegenden Untersuchung wurde bis auf wenige Ausnahmen als Befragungsmodus eine Online-Teilnahme angeboten. Der Vorteil dieser Methode ist, dass diese kostengünstiger als andere Befragungsmethoden ist und in kurzer Zeit Befragungsdaten gesammelt werden können, die zudem gleich elektronisch zur statistischen Weiterverarbeitung vorliegen. Außerdem kann ein Onlinefragebogen so programmiert werden, dass unvollständige Angaben oder Fehler in der Beantwortung minimiert werden. Der Nachteil ist allerdings, dass es durch eine Onlinebefragung möglich ist, dass Personen von einer Teilnahme aus unterschiedlichen Gründen verfahrensbedingt ausgeschlossen werden. Aufgrund des Alters und einer damit einhergehenden potentiell eingeschränkten Internetaffinität oder generell für Menschen ohne Zugang zum Internet ist eine Teilnahme an der Befragung dadurch nicht möglich. Zwar gibt es Möglichkeiten, den Zugang zur Befragung zu vereinfachen, beispielsweise bei Nutzung eines QR-Codes als Zugang zur Befragung, allerdings muss dennoch die Bereitschaft sowie Möglichkeit zur digitalen Teilnahme vorhanden sein. Daher wäre eine Ausweitung der Befragungsmodi um eine Papier-Stift-Version förderlich. Alternativ könnte man auch anbieten, die Befragung per Telefon durchzuführen. Im Rahmen dieser Studie war die Durchführung ausschließlich postalischer Befragungen oder persönlicher Interviews aus Kostengründen nicht möglich. Telefonbefragungen wurden ausgeschlossen, da bekannt ist, dass es bei standortgebundenen Befragungen wg. der o. g. Rückläufigkeit von Eintragungen von Rufnummern in öffentlichen Verzeichnissen und der Abnahme von Festnetzanschlüssen zu einer Unterdeckung der Bevölkerung in der Studienregion kommt (vgl. [29]).

## 4.2.9 Zusammenfassung der psychologisch-sozialwissenschaftlichen Untersuchung

In der Befragungsstudie erweist sich nach Errichtung der jeweiligen Schallschutzmaßnahme die verbleibende durchschnittliche Schienenverkehrslärmbelastung bei den Schienenstegdämpfern als höher als in den Gebieten, in denen Schallschutzwände oder passive Schallschutzmaßnahmen errichtet wurden. Die geringste verbleibende Schienenverkehrslärmbelastung zeigte sich bei der Gabionenwand gefolgt von passiven Schallschutzmaßnahmen. Diese Reihenfolge in der Belästigung zeigt sich sowohl bei der

Schienenverkehrslärmbelastung insgesamt als auch vor allem bei der Belästigung durch den Lärm von Güterzügen. Im Einklang damit fällt in der Befragung der Anwohnenden die Zufriedenheit mit den Schienenstegdämpfern als Schallschutzmaßnahme im Mittel deutlich geringer aus als die Zufriedenheit mit der Schallschutzwand oder den passiven Schallschutzmaßnahmen, wobei die Zufriedenheit mit der Gabionenwand noch einmal höher ist als die Zufriedenheit mit der „klassischen“ Schallschutzwand. Die höchste Zufriedenheit in der Gesamtstichprobe erreichen die passiven Schallschutzmaßnahmen. Allerdings zeigt sich in den Regionen mit Schienenstegdämpfern (Mittelrheintal) deutlich mehr Güterzugverkehr, dessen Lärmbelastung als besonders belästigend empfunden wird. Die Schallschutzmaßnahme Schienenstegdämpfer geht zudem mit der geringsten Schallminderung in dB einher.

Nicht-akustische Faktoren wie die Informiertheit und der Einbezug der Bevölkerung scheinen für die Maßnahmenakzeptanz eine über die akustischen Unterschiede hinausgehende Bedeutung zu haben. So geben die Befragten aus den Gebieten, in denen Schienenstegdämpfer installiert wurden, im Vergleich zu denen, die eine Schallschutzwand an der Bahnstrecke erhielten

- im Mittel eine geringere Informiertheit über die Maßnahmenplanung,
- eine geringere Zufriedenheit mit der Art der Kommunikation und mit den bereitgestellten Informationen an und
- verneinen häufiger, dass die betroffene Bevölkerung in die Maßnahmenplanung einbezogen wurden – bei gleichzeitig hoher subjektiver Wichtigkeit, einbezogen zu werden.

Damit korrespondiert, dass in den Gebieten, in denen Schienenstegdämpfer installiert wurden, das wahrgenommene Lärmschutzengagement der Akteure und Akteurinnen geringer und die Einstellung zum Schienenverkehr weniger positiv ausfällt als in den Gebieten, in denen eine Schallschutzwand errichtet oder passiver Schallschutz verbaut wurde.

Was die akustischen Wirkungen der Schallschutzmaßnahmen betrifft, so zeigen sich weitere Aspekte für die Akzeptanzwirkung entscheidend, die auf die höhere Komplexität in der Schallausbreitung bzw. deren Wahrnehmung in realen Wohngebieten hinweisen:

Bei Schallschutzwänden:

- Anwohnende, die in höheren Etagen (z. B. Dachgeschoss) wohnen, berichten häufiger von einer Lärmzunahme nach Errichtung der Wand.
- Andere berichten, dass die Wand „zu kurz“ ist, d. h. ein Grundstück nicht vollständig durch die Schallschutzwand geschützt wird oder die Wand so ungünstig endet, dass ein „Lärmtrichter“ entsteht, der die Geräusche zum Wohnhaus hinlenkt.
- Außerdem wird berichtet, dass auch nach Errichtung der Schallschutzwand Erschütterungen weiterhin vorhanden sind.

Bei Schienenstegdämpfern:

- Auch die Befragten, die an Bahnstrecken mit eingebauten Schienenstegdämpfern wohnen berichten von weiterhin vorhandenen Erschütterungen. Sie berichten zudem, dass alte (laute) Güterzüge und Waggons verkehren und laute Bremsgeräusche immer noch zu hören sind.
- Teilweise wird angenommen, dass mehr Güterzüge eingesetzt werden und Züge mit höherer Geschwindigkeit fahren als bisher. Dahinter steckt die Befürchtung, dass die installierte Schallschutzmaßnahme dazu dient, die Auswirkungen einer erhöhten Geräuschbelastung abzumildern und nicht dazu, die bestehende Lärmsituation für die Betroffenen zu verbessern.

Bei passiven Schallschutzmaßnahmen:

- Die Befragten mit eingebauten Schallschutzfenstern berichten davon, dass die Lärminderung durch Fenster subjektiv keinen Ersatz für geöffnete Fenster darstellt.

Gerade bei den Schienenstegdämpfern zeigen sich die Herausforderungen der Akzeptanzsicherung der Lärmsanierungsmaßnahmen, wenn eine vergleichsweise geringe akustische Minderungswirkung gepaart ist mit einer als „optimierbar“ eingeschätzten Information und Einbeziehung der Bevölkerung.

## 4.3 Psychoakustischer Teil

Im Rahmen einer psychoakustischen Laboruntersuchung können akustische Unterschiede von Geräuschen weitgehend unbeeinflusst von außerakustischen Einflussfaktoren wie Einstellung zur Quelle oder Beeinflussung des Ortsbildes bewertet werden. Außerdem können durch den direkten Vergleich der Geräusche Unterschiede in der Regel feiner bewertet werden. Durch diese Fokussierung auf den akustischen Stimulus können jedoch durchaus unterschiedliche Resultate zur Bewertung im Feld bzw. vor Ort auftreten. So sind beispielsweise Einflüsse durch die Wahrnehmung anderer Sinnesorgane auf das auditive Urteil belegt, wie beispielsweise audio-visuelle oder audio-taktile Interaktionen. Zusätzlich fließen bei einer Befragung vor Ort psychologische oder soziologische Faktoren in das Urteil ein, wodurch wiederum Unterschiede zur psychoakustischen Laborstudie auftreten können.

Um Lärminderungsmaßnahmen in psychoakustischen Experimenten zu untersuchen, bieten sich zwei unterschiedliche Methoden für die Signalgenerierung an. So kann der Einfluss einer Maßnahme entweder anhand von Messungen mit und ohne Maßnahme aufgezeichnet werden oder eine Maßnahme anhand spektraler Filterungen simuliert werden. Bei der Messung ist darauf zu achten, dass an zwei möglichst benachbarten Messorten die Vorbeifahrt desselben Zugs einmal mit und einmal ohne Maßnahme aufgezeichnet wird. Findet sich ein solcher Messort, ist damit die tatsächliche Wirksamkeit einer Maßnahme besser abbildbar. Bei mangelndem Messort, beispielsweise auch bei neuartigen noch nicht montierten Lärmschutzmaßnahmen, ist jedoch die Simulation ein wertvolles Werkzeug.

Bei der hier vorliegenden Untersuchung wurden für die Lärmschutzmaßnahmen Schallschutzwand und Schienenstegdämpfer Messungen durchgeführt.

### 4.3.1 Durchführung der Messungen

Um die subjektive Wirksamkeit umgesetzter Lärmsanierungsmaßnahmen zu überprüfen, waren zunächst Signale von Zugvorbeifahrten mit und ohne Lärmsanierungsmaßnahme zu akquirieren. Diese sollen als Stimuli für eine subjektive Bewertung der jeweiligen Lärmsanierungsmaßnahme fungieren. Hierfür wurden Messungen an Messquerschnitten mit und ohne Lärmsanierungsmaßnahme durchgeführt. Als Lärmsanierungsmaßnahmen wurden in diesem Abschnitt Schallschutzwände und Schienenstegdämpfer betrachtet.

Hierzu wurde zur Erfassung der Lärmsanierungsmaßnahme „Schallschutzwand“ an der Strecke 5300 zwischen Augsburg und Donauwörth bei km 14,367 (mit Schallschutzwand) bzw. bei km 14,416 (ohne Schallschutzwand) am 5.12.2019 eine Messstelle eingerichtet (Abbildung 53). Zur Erfassung der Lärmsanierungsmaßnahme „Schienenstegdämpfer“ wurde am 18.12.2019 an der Strecke 2324 nördlich von Koblenz bei km 127,587 (mit Schienenstegdämpfer) bzw. bei km 127,444 (ohne Schienenstegdämpfer) gemessen. Die Gleisparameter waren an allen Messstellen identisch (UIC 60 Schiene, Betonschwelle, Schotterbett). Schienenrauheit und TDR wurden nicht gemessen. Der Abstand zwischen Maximalpegel und Hintergrundgeräusch betrug bei allen für die Analysen und Hörversuche verwendeten Signalen mehr als 15 dB, womit sich der Einfluss des Störgeräuschs unter 0,1 dB beläuft. Der Abstand zwischen Mittelungspegel und Hintergrundgeräusch betrug bei 100 % der untersuchten Signale mehr als 10 dB und bei 97 % der Signale mehr als 15 dB.

Abbildung 66 und Abbildung 67 zeigen die Lage der Messpunkte an den Strecken. Abbildung 68 zeigt den Messaufbau für die Maßnahme „Lärmschutzwand“, Abbildung 69 für die vermessene Maßnahme „Schienenstegdämpfer“ vor Ort. Die Mikrofone wurden jeweils nah (Abstand 7,5 m / Höhe 1,2 m) und fern (Abstand<sub>SSD</sub> 25 m / Höhe<sub>SSD</sub> 3,5 m bzw. Abstand<sub>SSW</sub> 18,5 m / Höhe<sub>SSW</sub> 2,6 m) vom Gleis positioniert. Die beiden Messpunkte nah und fern befanden sich hierbei jeweils auf einer Linie senkrecht zum Gleis.

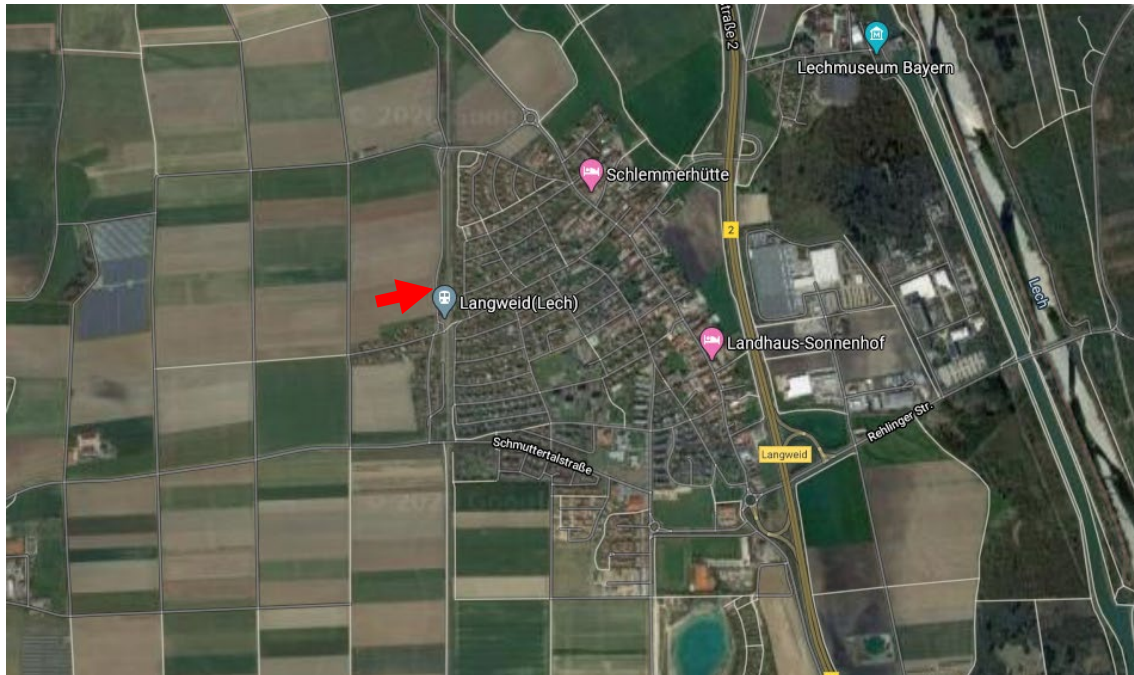


Abbildung 66: Strecke für die Messungen der Lärmsanierungsmaßnahmen „Schallschutzwand“;  
Quelle: Google Maps



Abbildung 67: Strecke für die Messungen der Lärmsanierungsmaßnahmen „Schienenstegdämpfer“;  
Quelle: Google Maps



Abbildung 68: Messaufbau der Messung am 5.12.2019 zur Erfassung der Lärmsanierungsmaßnahme „Schallschutzwand“, links im Abstand 7,5 m, rechts im Abstand 18,5 m.



Abbildung 69: Messaufbau der Messung am 18.12.2019 (links) zur Erfassung der Lärmsanierungsmaßnahme „Schienenstegdämpfer“ (rechts)

Insgesamt wurden bei der Messung „Schallschutzwand“ 27 Vorbeifahrten von Zügen aufgezeichnet, aus welchen für die subjektiven Beurteilungen 15 Signale ausgewählt wurden. Diese sind drei Doppelstockzüge, ein Nahverkehrszug, drei ET440, vier Hochgeschwindigkeitszüge (IC/ICE) und vier Güterzüge mit Geschwindigkeiten zwischen 71 und 165 km/h. Die genauen Geschwindigkeiten der einzelnen Zugvorbeifahrten sind in Tabelle 10 und Tabelle 11 aufgeführt. Bei Aufzeichnung der Vorbeifahrten wurden Züge im Bremsvorgang markiert, sodass für die subjektiven Beurteilungen nur Vorbeifahrten mit möglichst konstanter Geschwindigkeit ausgewählt werden konnten.

Bei der Messkampagne „Schienenstegdämpfer“ wurden 33 Vorbeifahrten aufgezeichnet, aus welchen wiederum 15 Signale für die Hörversuche ausgewählt wurden. Hier wurden drei ET440, drei ET425, ein Hochgeschwindigkeitszug (IC) und acht Güterzüge ausgewählt mit Geschwindigkeiten zwischen 53 und 121 km/h.

Für den direkten Vergleich der Vorbeifahrten wurden jeweils die Geräusche derselben Vorbeifahrt am Messquerschnitt ohne Maßnahme der Vorbeifahrt am Messquerschnitt mit Maßnahme gegenübergestellt.

### 4.3.2 Signalanalysen

Um die objektiv messbare Wirksamkeit der Lärmschutzmaßnahmen aufzuzeigen, wurden alle Signale, die im Hörversuch beurteilt wurden, auch hinsichtlich grundlegender akustischer Kenngrößen analysiert. Hierfür wurde der A-bewertete Pegel der Zugvorbeifahrt mit und ohne Maßnahme berechnet und dargestellt. Zusätzlich wurde der Maximalwert des A-bewerteten Pegels ausgelesen. Des Weiteren wurde die Lautheit der Vorbeifahrten berechnet und dargestellt. Auch hier wurde zusätzlich der Maximalwert für jede Vorbeifahrt ausgelesen.

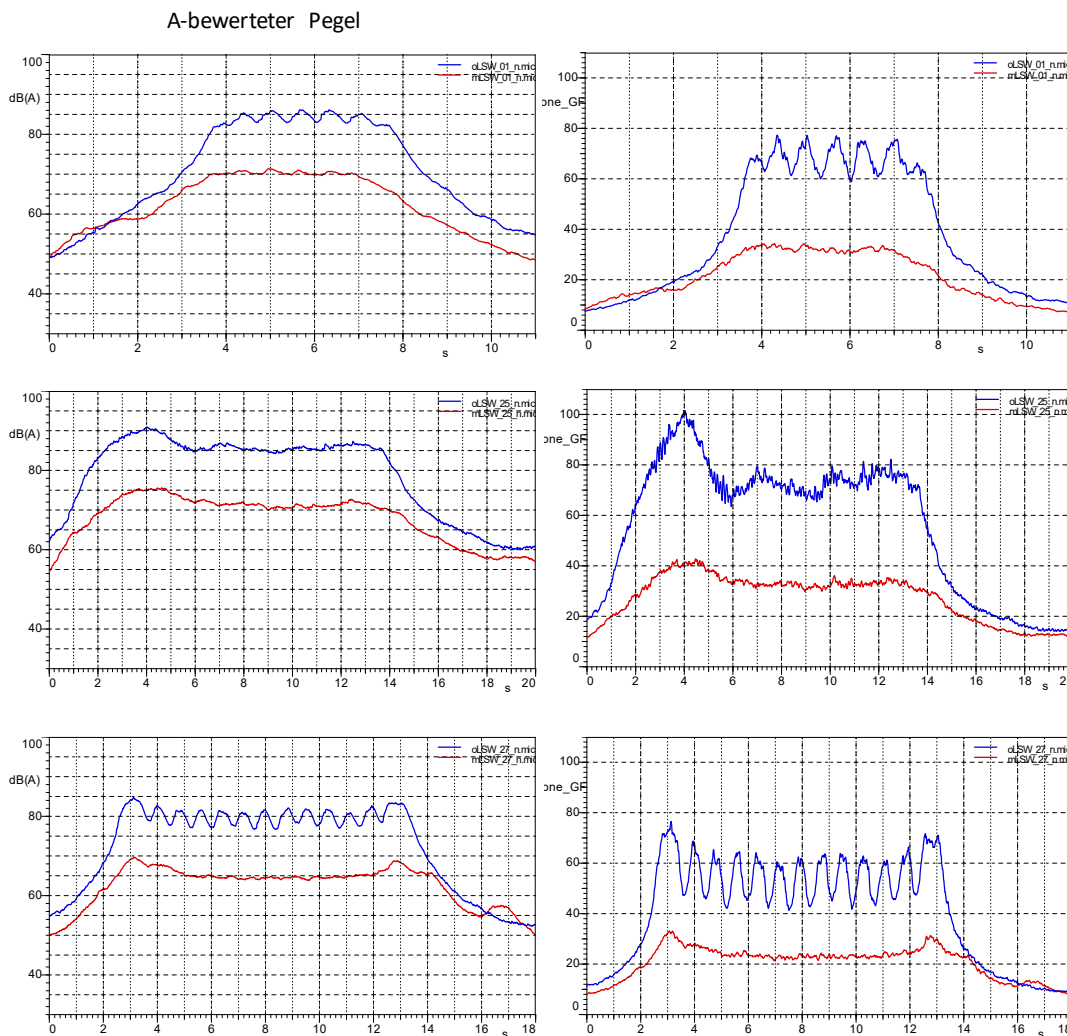


Abbildung 70: A-bewerteter Pegel (links) und Lautheit (rechts) von beispielhaften Vorbeifahrten eines Doppelstockzugs (oben), eines Güterzugs (Mitte) und eines Hochgeschwindigkeitszugs (unten), gemessen in einem Abstand von 7,5 m mit (rot) und ohne (blau) Schallschutzwand

Abbildung 70 zeigt beispielhaft für drei Zugvorbeifahrten den Pegelverlauf und den Lautheitsverlauf mit (rot) und ohne (blau) Schallschutzwand, gemessen in einem Abstand von 7,5 m.

Es findet sich ein deutlicher Unterschied sowohl im Pegel als auch in der Lautheit bei der Vorbeifahrt der Züge ohne Schallschutzwand und mit Schallschutzwand. Neben dem deutlichen Größenunterschied ist jedoch auch insbesondere bei Vorbeifahrt ohne Schallschutzwand eine deutliche Veränderung in der Hüllkurve des Signals zu erkennen. So zeigt der Verlauf ohne Schallschutzwand eine ausgeprägtere Modulation, während der Signalverlauf mit Schallschutzwand deutlich glatter ist. Dies kann vor allem auch bei der Lästigkeitsbeurteilung der Signale einen deutlichen Einfluss haben.

Die jeweiligen Maximalwerte des A-bewerteten Pegels und der Lautheit sind in Tabelle 10 für alle im weiteren Verlauf im Hörversuch beurteilten Vorbeifahrten für beide Messabstände zusammenfassend aufgelistet.

Die Minderung des Maximalpegels durch die Maßnahme beläuft sich am nahen Messpunkt auf 10,8 dB bis 19,7 dB (im Mittel 16,0 dB), während die maximale Lautheit durch die Maßnahme Werte zwischen 54 % und 34 % der ohne Maßnahme (im Mittel 43 %) beträgt. Am entfernten Messpunkt beträgt die Minderung des Maximalpegels durch die Maßnahme zwischen 5,7 dB und 11,0 dB (im Mittel 8,5 dB). Die entsprechende Lautheitsreduktion beläuft sich auf Werte zwischen 72 % und 52 % der Lautheit ohne Maßnahme (im Mittel 62 %). Die tatsächliche Minderung durch die Maßnahme hängt insbesondere am nahen Messpunkt von der Schallcharakteristik des jeweiligen vorbeifahrenden Zuges ab. So ist durch die „Glättung“ des Zeitsignals durch die Maßnahme (vergleiche auch Abbildung 70) vor allem bei sehr schwankenden Zeitverläufen ein deutlicher Einfluss der Maßnahme am nahen Messpunkt zu verzeichnen.



TABELLE 10: ÜBERSICHT ALLER MAXIMALWERTE IN PEGEL UND LAUTHEIT FÜR DIE VORBEIFAHRTEN MIT DER MAßNAHME „SCHALLSCHUTZWAND“

Entfernung		„nah“ (Abstand 7,5 m)							„fern“ (Abstand 18,5 m)					
		Ge- schwin- digkeit km/h	L <sub>Amax</sub> /dB		$\Delta L_{Amax}$ in dB	N <sub>max</sub> / sone		N <sub>max</sub> (mit) / N <sub>max</sub> (ohne) in %	L <sub>Amax</sub> /dB		$\Delta L_{Amax}$ in dB	N <sub>max</sub> / sone		N <sub>max</sub> (mit) / N <sub>max</sub> (ohne) in %
			ohne SSW	mit SSW		ohne SSW	mit SSW		ohne SSW	mit SSW		ohne SSW	mit SSW	
DoSto_01	LSW_01	110	86,2	71,4	<b>-14,8</b>	77,4	34,4	<b>44</b>	79,1	70,1	<b>-9,0</b>	50,1	32,2	<b>64</b>
DoSto_02	LSW_06	106	92,3	72,6	<b>-19,7</b>	97,3	33,0	<b>34</b>	80,2	69,9	<b>-10,3</b>	46,3	27,9	<b>60</b>
DoSto_03	LSW_16	115	86,7	70,2	<b>-16,5</b>	78,6	33,2	<b>42</b>	78,4	68,5	<b>-9,9</b>	48,0	28,9	<b>60</b>
NVZ_01	LSW_02	131	92,9	75,4	<b>-17,5</b>	112,7	49,1	<b>44</b>	85,0	74,2	<b>-10,8</b>	72,7	39,8	<b>55</b>
ET440_01	LSW_08	116	84,0	70,0	<b>-14,0</b>	73,2	33,6	<b>46</b>	76,2	68,2	<b>-8,0</b>	44,6	29,0	<b>65</b>
ET440_02	LSW_13	131	84,9	71,7	<b>-13,2</b>	84,6	39,7	<b>47</b>	75,2	70,1	<b>-5,1</b>	45,6	32,7	<b>72</b>
ET440_03	LSW_23	79	81,4	65,7	<b>-15,7</b>	59,6	24,6	<b>41</b>	74,0	65,1	<b>-9,0</b>	37,2	21,1	<b>57</b>
IC/ICE_0 1	LSW_07	140	86,5	75,7	<b>-10,8</b>	90,1	48,7	<b>54</b>	77,6	73,1	<b>-4,5</b>	52,5	38,9	<b>74</b>
IC/ICE_0 2	LSW_14	86	84,6	57,4	<b>-27,2</b>	65,0	26,1	<b>40</b>	73,0	64,9	<b>-8,1</b>	33,8	21,2	<b>63</b>
IC/ICE_0 3	LSW_26	103	87,2	72,9	<b>-14,2</b>	81,4	35,9	<b>44</b>	80,8	73,0	<b>-7,8</b>	53,9	35,0	<b>65</b>
IC/ICE_0 4	LSW_27	109	84,7	69,7	<b>-15,0</b>	76,6	33,1	<b>43</b>	74,9	69,2	<b>-5,7</b>	43,7	31,5	<b>72</b>
GZ_01	LSW_04	82	93,7	77,9	<b>-15,8</b>	110,0	47,9	<b>44</b>	86,7	75,7	<b>-11,0</b>	74,3	39,4	<b>54</b>
GZ_02	LSW_18	72	92,4	75,5	<b>-16,9</b>	114,2	45,6	<b>40</b>	82,2	72,4	<b>-9,8</b>	62,0	35,6	<b>58</b>
GZ_03	LSW_24	83	85,3	70,4	<b>-14,9</b>	78,3	32,6	<b>42</b>	75,2	67,3	<b>-7,9</b>	42,5	25,8	<b>61</b>
GZ_04	LSW_25	69	90,9	75,6	<b>-15,3</b>	101,6	42,8	<b>42</b>	83,1	72,4	<b>-10,7</b>	63,6	33,2	<b>52</b>
<b>Mittelwert</b>					<b>-16,0</b>			<b>43</b>			<b>-8,5</b>			<b>62</b>

In gleicher Weise zeigt Abbildung 71 beispielhaft für drei Zugvorbeifahrten den Pegelverlauf und den Lautheitsverlauf mit und ohne Schienenstegdämpfer, gemessen im Abstand „nah“ (7,5 m) bzw. Tabelle 11 alle Werte der Vorbeifahrten im Detail.

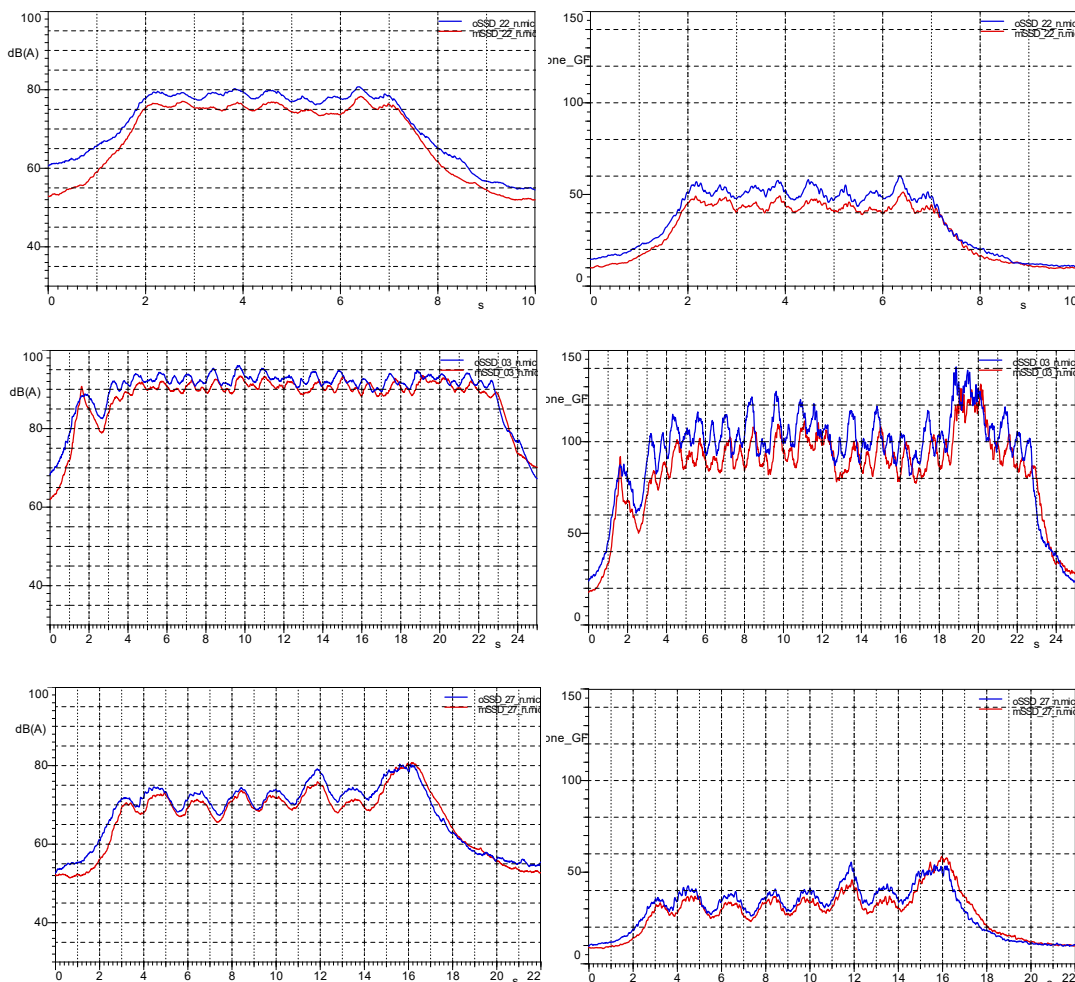


Abbildung 71: A-bewerteter Pegel (links) und Lautheit (rechts) von beispielhaften Vorbeifahrten eines ET425 (oben), eines Güterzugs (Mitte) und eines Hochgeschwindigkeitszugs (unten), mit (rot) und ohne (blau) Schienenstegdämpfer, gemessen im Abstand „nah“ (7,5 m).

Hier finden sich bereits in den Abbildungen deutlich geringere Unterschiede in A-bewertetem Pegel bzw. Lautheit zwischen Vorbeifahrt mit (blaue Kurven) und Vorbeifahrt ohne (rote Kurven) Schienenstegdämpfer. Auch der zeitliche Verlauf der Kurven ist mit und ohne Maßnahme sehr ähnlich und wird auch diesbezüglich voraussichtlich in der Lästigkeitsbeurteilung keinen allzu großen Einfluss haben.

So resultieren auch bei Betrachtung der Maximalwerte in Tabelle 11 hinsichtlich des A-bewerteten Pegels nur Unterschiede von bis zu -4,9 dB (im Abstand von 7,5 m) bzw. -5,3 dB (im Abstand von 25 m). Bei vier (7,5 m Abstand) bzw. drei (25 m Abstand) der 15 Zugvorbeifahrten findet sich sogar eine Zunahme des A-bewerteten maximalen Vorbeifahrtpegels. Hinsichtlich der Lautheit findet sich für die Vorbeifahrt mit Schienenstegdämpfer im Mittel eine Reduzierung um 5 bzw. 8 % (95 % bzw. 92 % der Lautheit ohne Schienenstegdämpfer).

TABELLE 11: ÜBERSICHT ALLER MAXIMALWERTE DER VORBEIFAHRTEN FÜR DIE MAßNAHME „SCHIENENSTEGDÄMPFER“

Entfernung		„nah“ (Abstand 7,5 m)							„fern“ (Abstand 25 m)					
		Ge- schwin- digkeit km/h	L <sub>Amax</sub> /dB		$\Delta L_{Amax}$ /in dB	N <sub>max</sub> / sone		N <sub>max</sub> (mit) / N <sub>max</sub> (ohne) in %	L <sub>Amax</sub> /dB		$\Delta L_{Amax}$ /in dB	N <sub>max</sub> / sone		N <sub>max</sub> (mit) / N <sub>max</sub> (ohne) in %
ohne SSD	mit SSD		ohne SSD	mit SSD		ohne SSD	mit SSD		ohne SSD	mit SSD				
ET1440_01	SSD_05	121	73,0	71,9	-1,1	40,6	37,0	91	68,3	67,0	-1,4	29,7	26,6	90
ET1440_02	SSD_11	98	73,6	72,5	-1,1	43,6	39,3	90	68,1	65,4	-2,7	28,7	25,1	88
ET1440_03	SSD_25	94	76,4	71,5	-4,9	43,7	38,3	88	70,1	64,8	-5,3	30,5	24,1	79
ET425_01	SSD_09	118	76,9	75,5	-1,4	48,9	45,6	93	72,3	71,3	-1,0	37,5	34,2	91
ET425_02	SSD_20	116	76,4	75,1	-1,3	47,4	43,1	91	71,9	70,3	-1,5	35,0	32,5	93
ET425_03	SSD_22	93	80,8	78,3	-2,5	60,2	51,3	85	74,9	69,9	-5,0	40,9	32,1	78
IC_01	SSD_27	53	80,4	80,8	+0,4	55,4	58,7	106	73,0	74,3	+1,3	36,4	39,1	107
GZ_01	SSD_01	89	88,9	88,8	-0,1	96,4	95,9	99	83,4	83,8	+0,4	70,2	70,2	100
GZ_02	SSD_02	90	86,9	87,5	+0,6	85,6	84,6	99	81,8	82,7	+0,9	64,7	62,0	96
GZ_03	SSD_03	90	96,1	93,5	-2,5	140,8	131,4	93	90,3	86,8	-3,5	96,5	88,6	92
GZ_04	SSD_06	101	85,5	85,2	-0,3	79,5	75,3	95	79,9	79,8	-0,1	56,6	55,1	97
GZ_05	SSD_08	68	92,9	91,4	-1,5	123,5	111,2	90	85,0	84,3	-0,7	77,0	72,3	94
GZ_06	SSD_10	63	90,7	89,3	-1,4	99,1	92,6	93	84,5	82,5	-2,0	68,7	62,8	91
GZ_07	SSD_14	73	89,0	89,5	+0,6	100,9	104,5	104	82,4	81,5	-0,9	70,0	63,8	91
GZ_08	SSD_19	85	90,9	92,4	+1,5	104,0	106,9	103	86,5	85,5	-1,0	78,0	74,2	95
<b>Mittelwert</b>				-	-1,0			95			-1,5			92

### 4.3.3 Randbedingungen der psychoakustischen Experimente

Die Hörversuche wurden mit 21 normal hörenden Versuchspersonen in einem Alter zwischen 23 und 55 Jahren durchgeführt. Die Darbietung erfolgte über Kopfhörer (Stax Lambda) in einer neutralen Versuchsumgebung (siehe Abbildung 72).



Abbildung 72: Hörkabine der Firma Möhler + Partner.

Ziel der Hörversuche war es, den Einfluss auf *die Lästigkeit einer Zugvorbeifahrt* durch die jeweilige Lärmschutzmaßnahme zu quantifizieren. Hierzu wurde die psychometrische Methode „Größenschätzung mit Ankerschall“ verwendet. Bei dieser Methode werden den Versuchspersonen Schallpaare dargeboten, wobei das erste Geräusch den vorbeifahrenden Zug ohne Lärmschutzmaßnahme und das zweite Geräusche die Vorbeifahrt desselben Zuges mit der jeweiligen Lärmschutzmaßnahme repräsentiert. Abbildung 73 zeigt den Ablauf einer solchen Sequenz im Hörversuch.

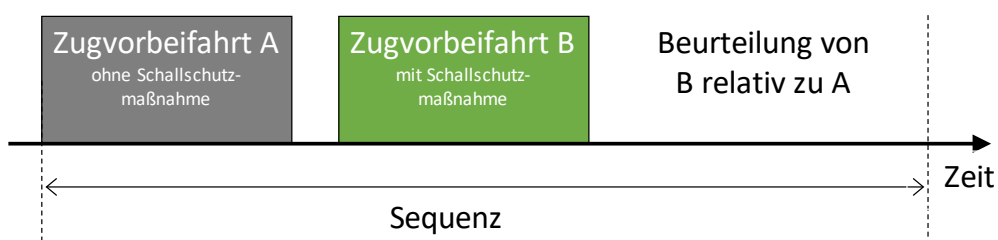


Abbildung 73: Ablauf einer Sequenz bei der Methode „Größenschätzung mit Ankerschall“

Nach einer solchen Sequenz ist von der Versuchsperson die Lästigkeit der zweiten Zugvorbeifahrt im Verhältnis zur ersten zu beurteilen. Hierzu wird dem ersten Geräusch, dem sogenannten Anker, ein fester Zahlenwert „100“ zugeordnet. Wird das zweite Geräusch nun beispielsweise als doppelt so lästig empfunden, ist der Zahlenwert „200“ zu vergeben. Wird das zweite Geräusch hingegen beispielsweise als halb so lästig empfunden der Zahlenwert „50“. So kann die Versuchsperson die Lästigkeit der Geräusche anhand beliebiger Zahlenwerte beschreiben.

Auf diese Art und Weise wurden alle in Tabelle 10 und Tabelle 11 aufgelisteten Geräusche von den 21 Versuchspersonen je zwei Mal bewertet.

### 4.3.4 Ergebnisse Schallschutzwand

Abbildung 74 zeigt die Ergebnisse der Beurteilungen der 15 Züge für die Maßnahme Schallschutzwand. Dargestellt sind die Mediane (50%-Wert) und die interquartilen Schwankungen (25 %- und 75 %-Wert) aller Beurteilungen zur Lästigkeit der Vorbeifahrten. Die Quadrate zeigen die Ergebnisse an der Messposition in 7,5 m Abstand zum Gleis, die Kreise die der Messposition in 25 m Abstand.

Bei Einsatz der Maßnahme Schallschutzwand kann somit eine deutliche Verminderung der Lästigkeit erzielt werden. An der Mikrofonposition 7,5 m resultieren je nach Zug Werte zwischen 45 % und 65 % der Lästigkeit ohne Maßnahme. Jedoch auch im Abstand 25 m finden sich Werte zwischen 65 % und 87,5 % für die Lästigkeit verglichen zur Vorbeifahrt ohne Maßnahme.

Abbildung 75 fasst diese Datenpunkte in der linken Abbildung für die jeweils gleichen Zugkategorien (DoSto, NVZ, ET440, IC/ICE und GZ) und in der rechten Abbildung für alle untersuchten Züge zusammen.

Es kann demnach durch den Einsatz einer Schallschutzwand im Mittel nahezu eine Halbierung der Lästigkeit (Abnahme von 45 %) im Abstand von 7,5 m bzw. im Abstand von 25 m eine Reduzierung der Lästigkeit um etwa ein Viertel (Abnahme von 24 %) erzielt werden.

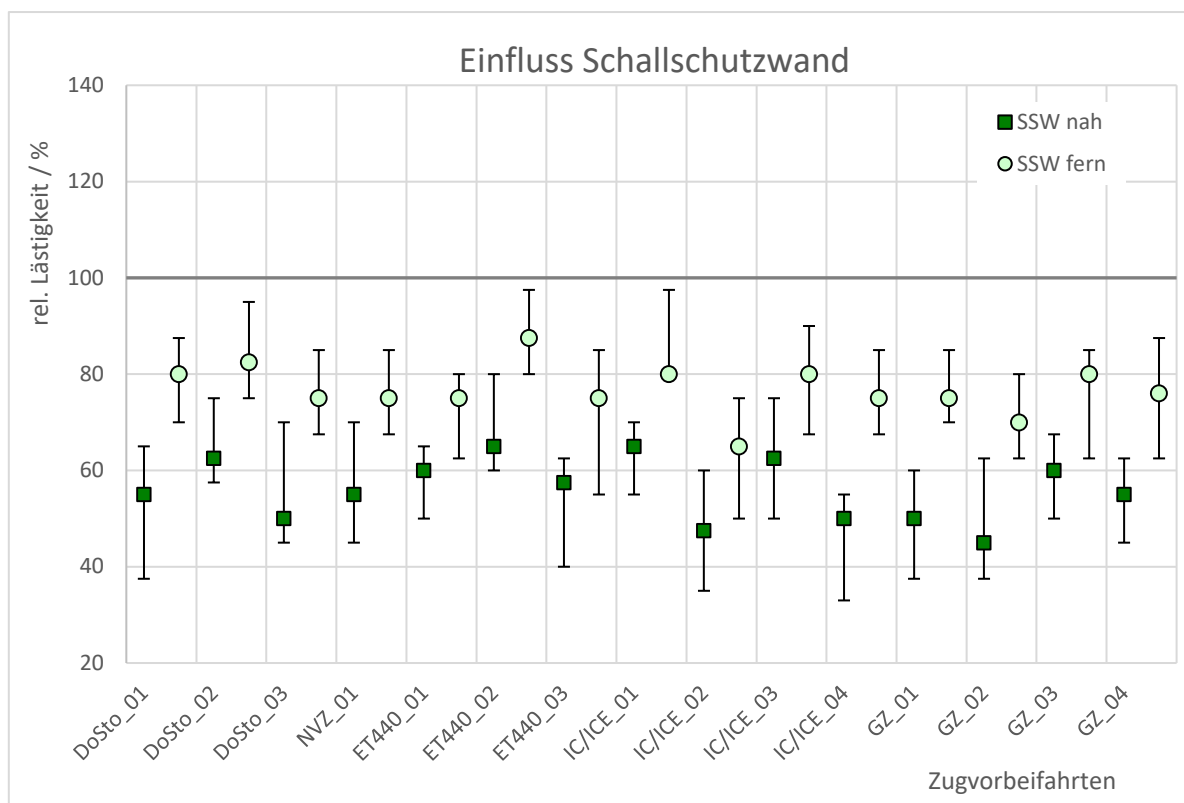


Abbildung 74: Ergebnisse der Hörversuche für die Maßnahme Schallschutzwand; die relative Lästigkeit gibt die Lästigkeit der Vorbeifahrt mit Schallschutzwand im Verhältnis zu derselben Vorbeifahrt ohne Schallschutzwand wieder

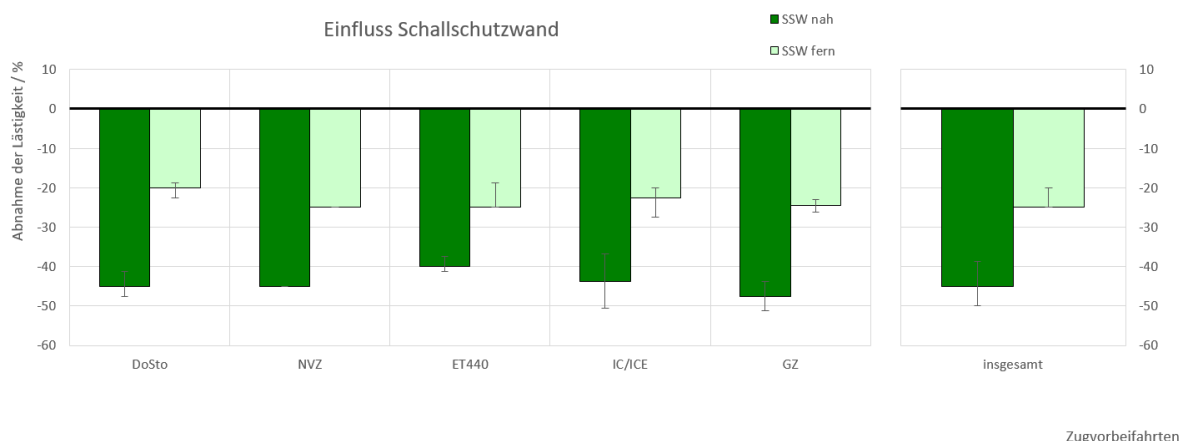


Abbildung 75: Gemittelte Werte für die Abnahme der Lästigkeit bei dem Einsatz der Maßnahme Schallschutzwand.

### 4.3.5 Ergebnisse Schienenstegdämpfer

Abbildung 76 zeigt die Ergebnisse der Beurteilungen der einzelnen 15 Züge für die Maßnahme Schienenstegdämpfer. Dargestellt sind wiederum die Mediane (50%-Wert) und die interquartilen Schwankungen (25 %- und 75 %-Wert) aller Beurteilungen an der Messposition in 7,5 m Abstand (Quadrate) zum Gleis und an der Messposition in 18,5 m Abstand (Kreise).

Werden die Versuchspersonen nach der Lästigkeit der Zugvorbeifahrt mit Schienenstegdämpfer im Vergleich zu der ohne Schienenstegdämpfer befragt, so ergibt sich bei den allermeisten Zügen im Mittel kein Unterschied. Vereinzelt findet sich eine Reduzierung der Lästigkeit von bis zu 15 % bei den Zügen ET1440. Bei den Güterzügen und dem Hochgeschwindigkeitszug finden sich hingegen sogar Anhebungen bis zu 10 % hinsichtlich der Lästigkeit.

Dies ist auch in Abbildung 77, worin wiederum in der linken Abbildung die Datenpunkte für die jeweils gleichen Zugkategorien (ET1440, ET425, IC und GZ) und in der rechten Abbildung für alle Züge zusammengefasst sind, zu erkennen. Über alle Züge gemittelt resultiert somit hinsichtlich der Lästigkeit für die Versuchspersonen keine Verbesserung durch die Maßnahme Schienenstegdämpfer.

### 4.3.6 Zusammenfassung der psychoakustischen Untersuchung

Es wurden Versuchspersonen im direkten Vergleich Vorbeifahrten desselben Zugs mit und ohne Schallschutzmaßnahme vorgespielt. Die Aufgabe bestand darin, die Lästigkeit der beiden Vorbeifahrten zu vergleichen und die Veränderung zu quantifizieren. Auf diese Art und Weise wurden zwei verschiedene Schallschutzmaßnahmen (Schallschutzwand und Schienenstegdämpfer) in zwei verschiedenen Entfernungen zum Gleis von 21 Versuchspersonen beurteilt. Für die Beurteilung wurden für jede Schallschutzmaßnahme jeweils 15 unterschiedliche Zugvorbeifahrten verschiedener Zugkategorien ausgewählt.

Entsprechend der vorab durchgeführten Signalanalysen hinsichtlich A-bewertetem Maximalpegel und maximaler Lautheit, fand sich bei der Maßnahme Schallschutzwand im Mittel über alle analysierten Züge eine Reduzierung im Pegel von 16 dB (Abstand 7,5 m) bzw. 8,5 dB (Abstand 25 m). Die Lautheitsminderung betrug im Mittel durch die Schallschutzwand 57 % (Abstand 7,5 m) bzw. 38 % (Abstand 25 m). Diese Unterschiede spiegeln sich nun auch in der Bewertung der Lästigkeit durch die Versuchspersonen wider. So beurteilen die Versuchspersonen die Lästigkeit der Zugvorbeifahrten mit Schallschutzwand in einem Abstand von 7,5 m um im Mittel 45 % bzw. in einem Abstand von 25 m um im Mittel 24% weniger lästig.

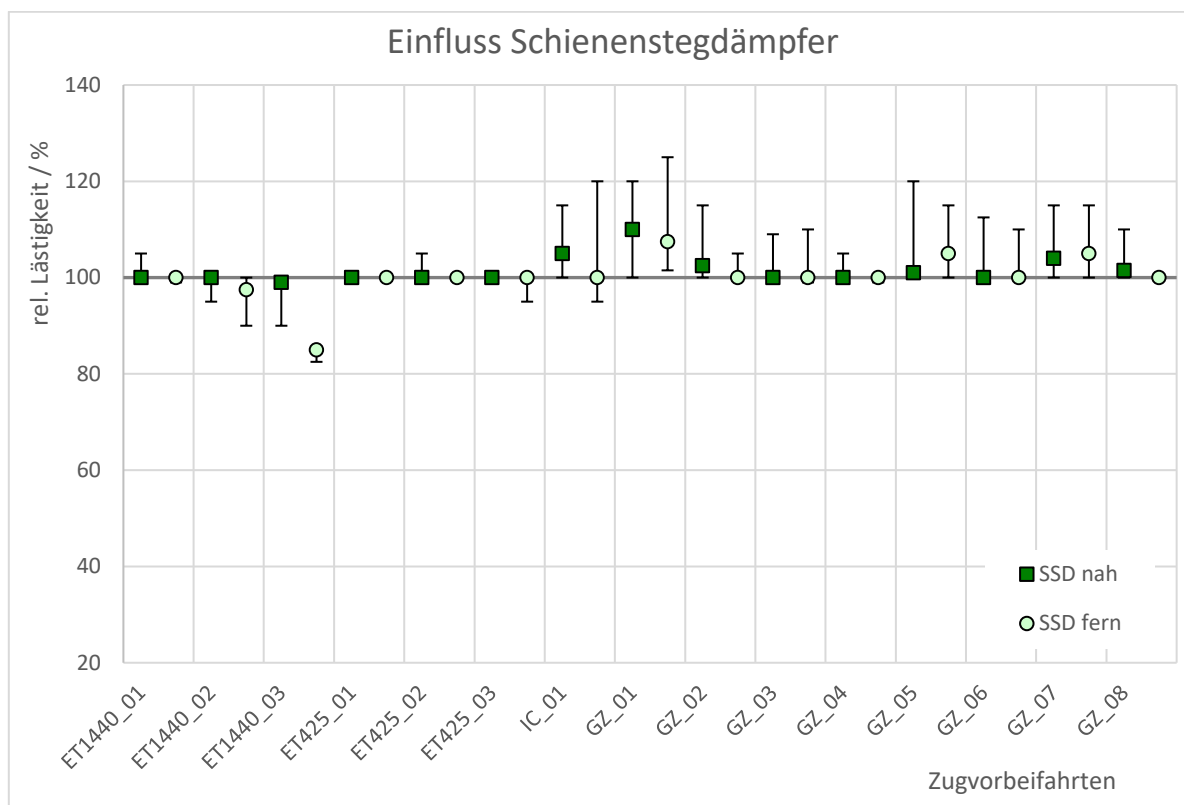


Abbildung 76: Ergebnisse der Hörversuche für die Maßnahme Schienenstegdämpfer; die relative Lästigkeit gibt die Lästigkeit der Vorbeifahrt mit Schienenstegdämpfer im Verhältnis zu derselben Vorbeifahrt ohne Schienenstegdämpfer wieder

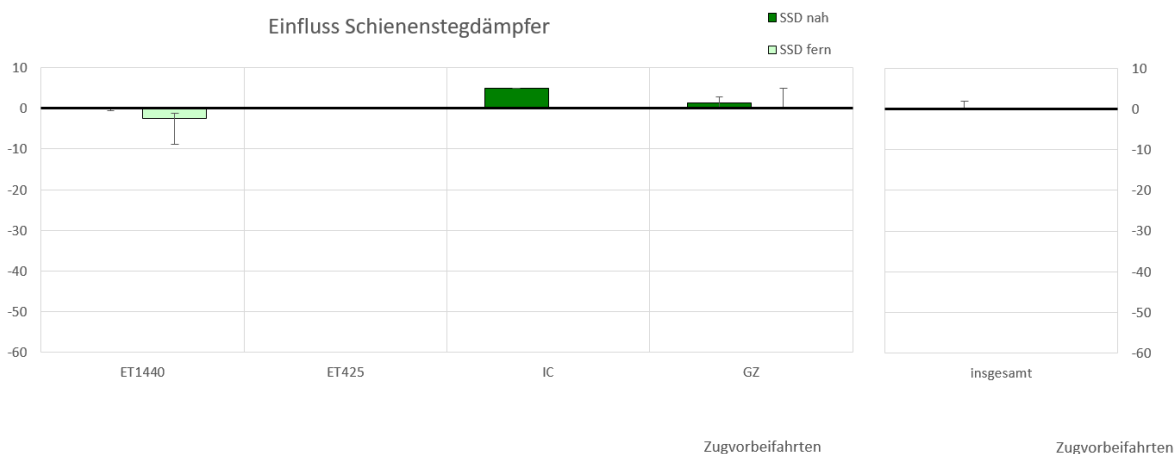


Abbildung 77: Gemittelte Werte für die Abnahme der Lästigkeit bei dem Einsatz der Maßnahme Schienenstegdämpfer

Für die Maßnahme Schienenstegdämpfer konnte hingegen bei den Analysen der Zugvorbeifahrten nur eine Verringerung des A-bewerteten Maximalpegels um im Mittel 1 dB bzw. 1,5 dB gemessen werden. Die maximale Lautheit bei Vorbeifahrt mit der Maßnahme Schienenstegdämpfer reduzierte sich um 5 % (7,5 m) bzw. 8 % (18,5 m). Diese Reduzierung scheint jedoch in Kombination mit dem unveränderten zeitlichen Verlauf des Signals die Lästigkeit der Zugvorbeifahrt nicht wesentlich zu beeinflussen. So wird im Mittel von den Versuchspersonen keine Verringerung der Lästigkeit bei Vorbeifahrt mit Schienenstegdämpfer bemerkt.

Im Folgenden werden die Unterschiede der wahrgenommenen Lästigkeit verschiedenen Analysegrößen der Signale gegenübergestellt und der Zusammenhang anhand des resultierenden Bestimmtheitsmaßes berechnet.

Zunächst soll die Lästigkeit dem Vorbeifahrtpegel gegenübergestellt werden. Da die Signale (insbesondere die Güterzugvorbeifahrten) teilweise gekürzt wurden, um im Hörversuch beurteilt werden zu können, wurde folgende Berechnungsvorschrift für den Vorbeifahrtpegel verwendet: Bei der Signalanalyse wurde zunächst das Maximum von Vorbeifahrtbeginn und Vorbeifahrtende detektiert. Als Triggerwert für den Zeitbereich der Vorbeifahrt wurde vom geringeren dieser beiden Werte dann nochmals 10 dB abgezogen. Abbildung 78 veranschaulicht die Vorgehensweise für die beiden Signale „LSW\_01“ mit (rote Kurve) und ohne (blaue Kurve) Maßnahme.

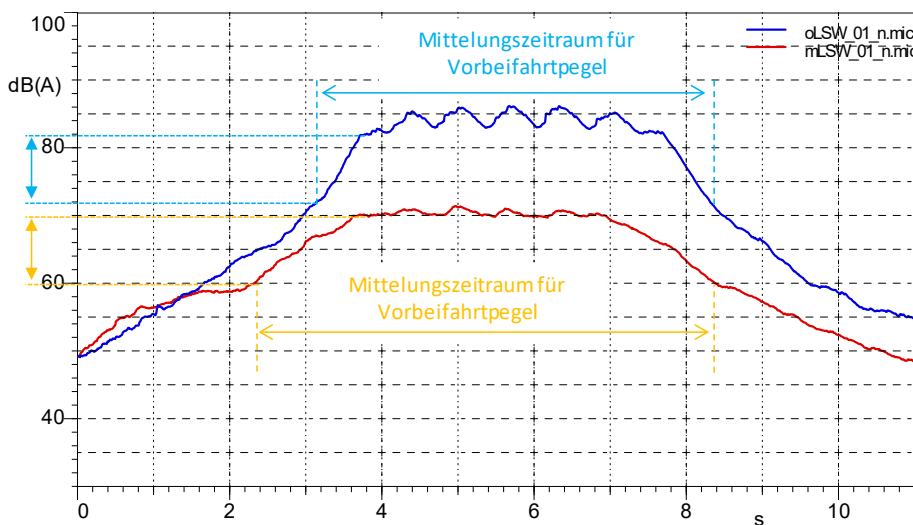


Abbildung 78: Definition der Berechnung der Vorbeifahrtpegel für die Korrelation mit der subjektiv beurteilten Lästigkeit am Beispiel der Signale LSW\_01 ohne Maßnahme (blau) und LSW\_01 mit Maßnahme (rot).

Abbildung 79 zeigt nun die Gegenüberstellung der Lästigkeit mit diesem Vorbeifahrtpegel für alle einzelnen Zugvorbeifahrten. Es resultiert findet sich ein korrelierter Zusammenhang mit einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,914$ .

Werden die Unterschiede im A-bewerteten Maximalpegel dem resultierenden Lästigkeitsunterschied gegenübergestellt, so resultiert der in Abbildung 80 dargestellte Zusammenhang. Auch hier zeigt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Unterschied des Pegels zur Abnahme der Lästigkeit, der sich mit einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,895$  berechnet.

Abbildung 81 stellt den Zusammenhang zwischen dem Lästigkeitsunterschied und dem Unterschied in der berechneten maximalen Lautheit der Zugvorbeifahrten dar. Hier findet sich ein Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,918$ . Alle drei dargestellten Größen weisen somit eine hohe Korrelation zur beurteilten Lästigkeit der Zugvorbeifahrten auf.

Durch Analyse dieser Größen kann somit auch auf die durch die Maßnahme voraussichtlich erzielte Reduzierung der Lästigkeit geschlossen werden. Für eine Halbierung der Lästigkeit ist demnach beispielsweise eine Absenkung des Mittelungspegels oder auch des A-bewerteten Maximalpegels von mindestens 15 dB nötig bzw. Die maximale Lautheit muss durch die Maßnahme um etwa 60 % reduziert werden um eine Halbierung der Lästigkeit zu erzielen.



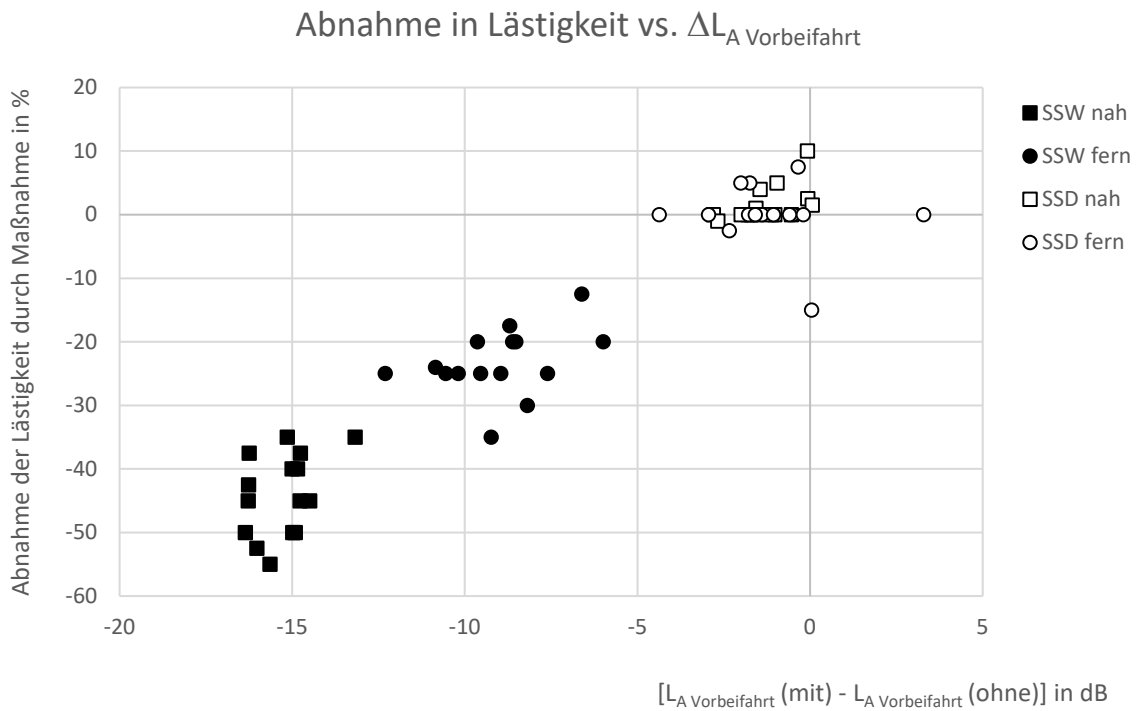


Abbildung 79: Gegenüberstellung der Abnahme der Lästigkeit und dem Unterschied im gemittelten Vorbeifahrtpegel entsprechend der obigen Definition für alle beurteilten Signale

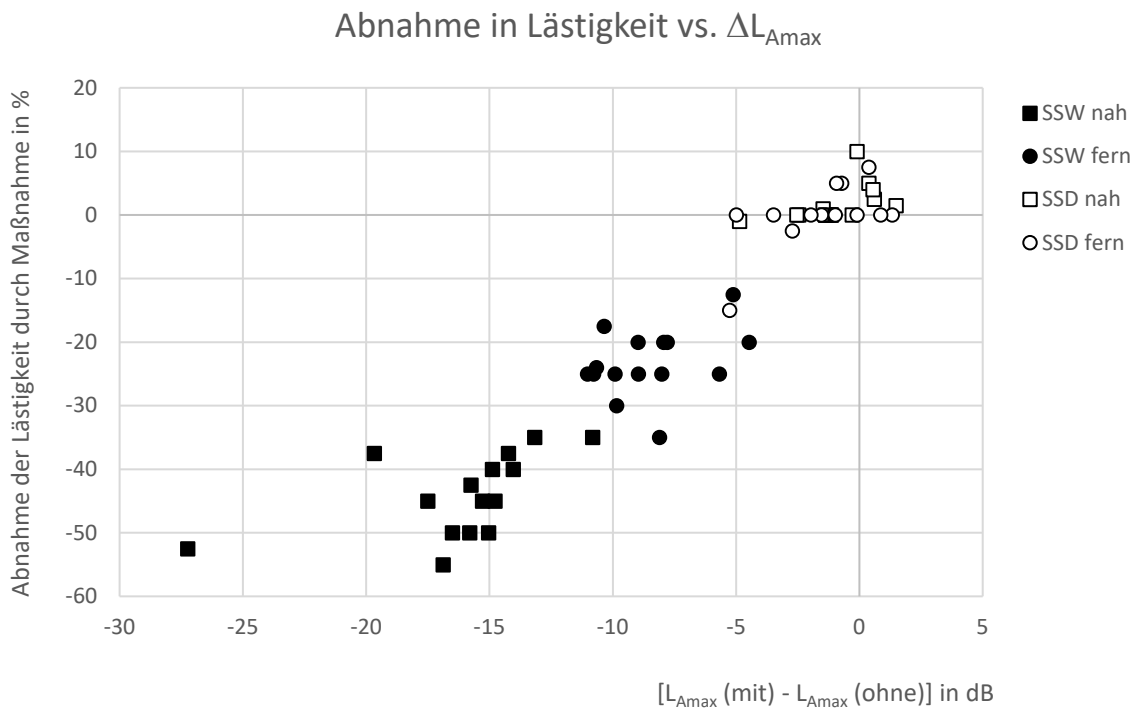


Abbildung 80: Gegenüberstellung der Abnahme der Lästigkeit und dem Unterschied im maximalen A-bewerteten Vorbeifahrtpegel für alle beurteilten Signale

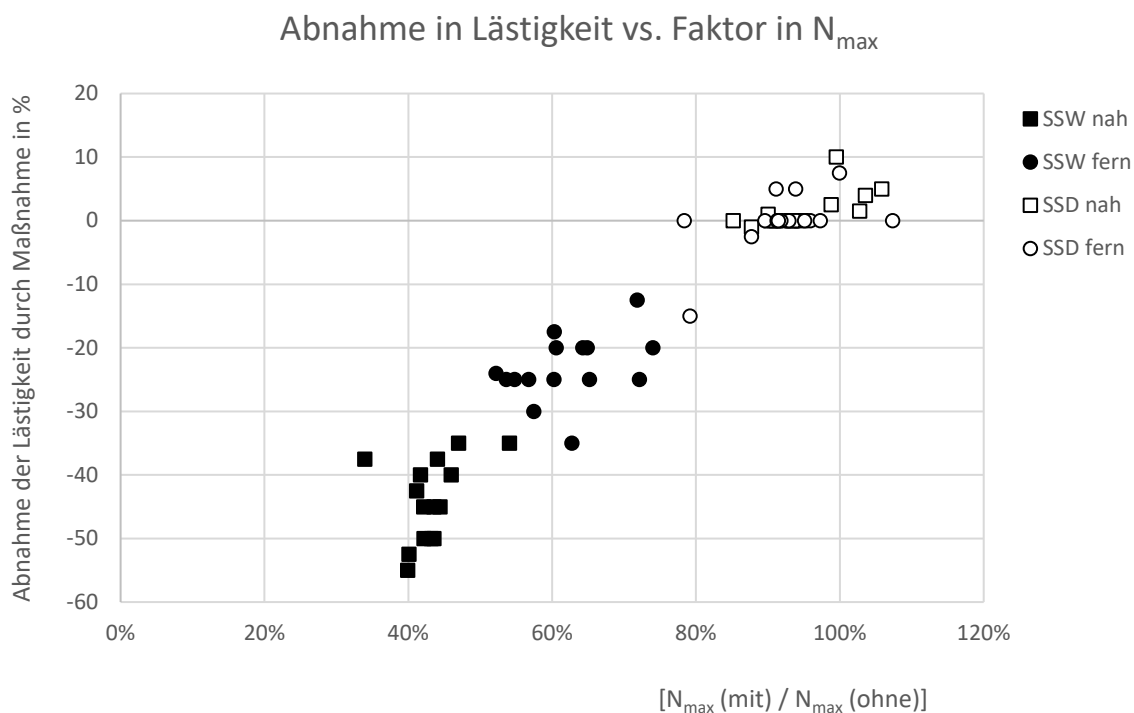


Abbildung 81: Gegenüberstellung der Abnahme der Lästigkeit und dem Unterschied in der maximalen Lautheit für alle beurteilten Signale

## 4.4 Zusammenführung des psychologisch-sozialwissenschaftlichen und des psychoakustischen Teils

Im vorliegenden Kapitel werden die Ergebnisse der psychoakustischen Laborstudie mit den Ergebnissen der Befragungsstudie verglichen.

In der psychoakustischen Untersuchung wurden Versuchspersonen in einer Laborsituation einzelne Zugvorbeifahrten mit und ohne Lärmsanierungsmaßnahme dargeboten. Um die Reduzierung der Belästigung durch eine Lärmsanierungsmaßnahme zu quantifizieren, wurden die Vorbeifahrten mit und ohne Maßnahme im direkten Vergleich von den Versuchspersonen hinsichtlich ihrer Lästigkeit beurteilt. Als Lärmsanierungsmaßnahmen wurden Schallschutzwände und Schienenstegdämpfer betrachtet. Als Maß der Akzeptanz resultierte somit die durch die Maßnahme erzielte Reduktion der Lästigkeit.

In der psychologisch-sozialwissenschaftlichen Befragung von Anwohnenden stellen die Belästigung durch Schienenverkehrslärm (nach Errichtung der Schallschutzmaßnahme), die Zufriedenheit mit der betreffenden Schallschutzmaßnahme als auch die von den Befragten wahrgenommene Veränderung der Lautheit des Schienenverkehrslärms und der Wohnqualität Indikatoren der Akzeptanz der Maßnahme dar.

Bezogen auf die in beiden Studienteilen untersuchten Wirkungen der Schienenstegdämpfer und der Schallschutzwand zeichnen sich Parallelen in den Ergebnissen ab:

- In der psychoakustischen Untersuchung erweist sich die Wirkung der Schallschutzwand als deutlich besser im Vergleich zu den Schienenstegdämpfern. Während bei Einsatz einer Schallschutzwand im Abstand von 7,5 m im Mittel nahezu eine Halbierung der Lästigkeit resultiert (Abnahme von 45 %), kann bei Einsatz der Schienenstegdämpfer im Mittel keine Verbesserung der Lästigkeit verzeichnet werden.
- In der Anwohnerbefragungsstudie erweist sich nach Errichtung der jeweiligen Schallschutzmaßnahme die verbleibende durchschnittliche Schienenlärmelastigung bei den Schienenstegdämpfern als höher als in den Gebieten, in denen Schallschutzwände errichtet wurden. Die geringste verbleibende Schienenlärmelastigung ergibt sich bei der Gabionenwand. Diese Reihenfolge in der Belastigung zeigt sich sowohl bei der Schienenlärmelastigung insgesamt als auch vor allem bei der Belastigung durch den Lärm von Güterzügen. Entsprechend fällt in der Befragung der Anwohnenden die Zufriedenheit mit den Schienenstegdämpfern als Schallschutzmaßnahme im Mittel deutlich geringer aus als die Zufriedenheit mit der Schallschutzwand, wobei die Zufriedenheit mit der Gabionenwand noch einmal höher ist als die Zufriedenheit mit der „klassischen“ Schallschutzwand.

Im Folgenden werden die durch die Lärmsanierungsmaßnahme resultierenden Unterschiede in der Lästigkeit bei rein akustischer Darbietung (Resultate der psychoakustischen Untersuchung) den Ergebnissen der Befragung vor Ort hinsichtlich der Lautstärke- und Wohnqualitätsunterschiede (Abbildung 26 und Abbildung 28) nach Implementierung einer Maßnahme gegenübergestellt.

Insgesamt findet sich eine Plausibilität zwischen den Resultaten. Eine Reduzierung der Lästigkeit des rein akustischen Geräuschs findet sich ebenfalls in einem erhöhten Prozentsatz an Personen wieder, die eine Lautstärkeminderung und somit auch eine Wohnqualitätsverbesserung durch eine Maßnahme empfinden.

TABELLE 12: ZUSAMMENFASSENDE ÜBERSICHT ÜBER WIRKUNGSUNTERSCHIEDE ERMITTELT DURCH REIN AKUSTISCHE DARBIETUNG (RESULTATE DER PSYCHOAKUSTISCHEN UNTERSUCHUNG) UND DEN ERGEBNISSEN DER BEFRAGUNG VOR ORT (RESULTATE DER PSYCHOLOGISCH-SOZIALWISSENSCHAFTLICHEN BEFRAGUNG)

Erhebung		psychoakustisch	psychologisch-sozialwissenschaftlich		
Maßnahme		Lästigkeit (rein akustisch) „nah“ bzw. „fern“	Lautstärkeminderung wahrnehmen	Wohnqualitätsverbesserung wahrnehmen	Befragungsort
Schienenstegdämpfer		0 % bzw. 0 %	5 %	12 %	Mittelrheintal 1
			13%		Mittelrheintal 2
Schallschutzwand	klassisch	-45 % bzw. -25 %	50 %	78 %	Friedberg 1
			38 %	24 %	Friedberg 2
	Gabionen		83 %	67 %	Gröbenzell

Es zeigt sich jedoch deutlich, dass neben dem reinen akustischen Geräusch auch andere Entscheidungsfaktoren von den Anwohnenden zur Beurteilung herangezogen werden. So beurteilen bei den Schienestegdämpfern, obwohl kein Lästigkeitsunterschied zwischen den akustischen Stimuli wahrnehmbar war, 5 % bzw. 13 % die Eisenbahngeräusche nach Implementierung der Maßnahme als leiser und 12 % der Anwohnenden berichten von einer Verbesserung der Wohnqualität.

Auch bei der Implementierung einer Schallschutzwand resultiert bei einer rein auditiv bewerteten Maßnahme eine Reduzierung der Lästigkeit je nach Entfernung von der Quelle um 25 % bzw. 45 %. Bei der psychologisch-sozialwissenschaftlichen Erhebung findet sich für die wahrgenommene Lautstärkereduzierung jedoch eine Bandbreite je nach Befragungsort von 38 % bis 83 % der Anwohnenden. Bezogen auf die Wohnqualitätsverbesserung sind es 74 % bis 78 % der Anwohnenden, die dies wahrnehmen. So scheint die Bandbreite dieser Resultate in den zusätzlichen am Befragungsort vorliegenden nicht-akustischen Einflussgrößen begründet zu sein.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass anhand einer psychoakustischen Untersuchung insbesondere in einer frühen Planungsphase mit einfachen Mitteln ein Maßnahmenranking nach akustischen Wirkungskriterien erreicht werden kann. Die tatsächlich vor Ort resultierenden Verbesserungen einer Lärmsanierungsmaßnahme sind jedoch zusätzlich stark durch nicht-akustische Faktoren beeinflusst und sollten bei der Planung und Wirksamkeitsevaluation berücksichtigt werden. Dies ließe sich etwa dadurch erreichen, dass die von Maßnahmen betroffene Bevölkerung die Möglichkeit des Einbezugs in die Planung erhält. So könnte beispielsweise die Wirksamkeit von Lärmsanierungsmaßnahmen bereits im Vorfeld hörbar gemacht werden, um Anwohnende auf diese Weise in den Entscheidungsprozess mit einzubeziehen. Diese Hörbarmachung der Lärmsanierungsmaßnahme für die betroffene Bevölkerung sollte durch weitere Formen der Beteiligung begleitet werden, wie der gezielten Information, Konsultation bis hin zu Mitentscheidungsmöglichkeiten bei Auswahl oder Implementierung der Maßnahme. Auch die Fragestellungen des Effekts einer Lärmsanierungsmaßnahme hinsichtlich Wohlergehen und Gesundheit auf die Bevölkerung, wie etwa Belästigung, Schlafstörung, Wohnqualität oder körperliche Gesundheit, sollten vor Implementierung der Lärmsanierungsmaßnahme im Entscheidungsprozess berücksichtigt werden.

# 5 Messtechnische Ermittlung der Pegelminderung durch Maßnahmen der Lärmsanierung

## 5.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen der Evaluierung der Lärmsanierung an Schienenstrecken des Bundes sollte die Wirksamkeit der Lärmsanierung durch Schallschutzwände auch messtechnisch überprüft werden. Wie in Kapitel 2.3.2 dargestellt, wurden besonders in den letzten Jahren hauptsächlich Schallschutzwände mit einer Höhe von 3,0 m über Schienenoberkante errichtet.

## 5.2 Ermittlungsmethodik

Zur Überprüfung der Wirksamkeit der aktiven Maßnahmen der Lärmsanierung wurde eine Schallmessung durchgeführt. Bei der parallelen Messung wurden die Schallimmissionen an zwei benachbarten Abschnitten derselben Strecke in identischen Abständen vom Gleis gemessen, wobei an einem Abschnitt die Schallschutzwand bereits errichtet und am anderen keine Schallschutzwand vorhanden war. Der Effekt der Pegelminderung wurde durch Vergleich der Messungen an den beiden Abschnitten ermittelt.

Ein wesentlicher Vorteil dieser Art Messung besteht darin, dass dieselben Zugvorbeifahrten an beiden Messquerschnitten miteinander verglichen werden. Jedoch ist in der Regel der Schienenzustand zwischen dem Abschnitt ohne und mit Schallschutzwand nicht identisch und kann mehrere Dezibel Unterschied in der Emission verursachen. Durch Messung der Schienenrauheit und der Gleisabklingrate kann der gegebenenfalls auftretende Effekt der unterschiedlichen Emission weitgehend korrigiert werden.

Weiter wurde die Messung mit den Berechnungen aus der schalltechnischen Untersuchung verglichen, anhand welcher die Schallschutzwand geplant wurde.

## 5.3 Gebietsauswahl

Der Großteil der derzeit errichteten Schallschutzwände wurde anhand schalltechnischer Untersuchungen geplant, welche auf Grundlage der Schall 03, Stand 1990 [20], erstellt wurden. Seit 2015 gilt das Rechenverfahren der Schall 03, Stand 2015 [19]. Um das aktuelle Rechenverfahren, sowie den Großteil der erstellten Schallschutzwände messtechnisch nachzuweisen, wurden Messungen in zwei Sanierungsgebieten durchgeführt. Eine Messung erfolgte in einem Gebiet mit einer Schallschutzwand, welche auf Grundlage der aktuellen Schall 03, Stand 2015 berechnet wurde und eine Messung in einem Gebiet mit einer Schallschutzwand, welche nach Schall 03, Stand 1990 berechnet wurde.

Je Gebiet wurde an zwei Messquerschnitten mit identischen Abständen gemessen. Ein Messquerschnitt wurde an einem Immissionsort hinter der Schallschutzwand gewählt, der andere in einem Bereich ohne Schallschutzwand. Anforderungen an die Messgebiete waren unter anderem, dass die Abstände zwi-

schen den Messquerschnitten nicht zu groß sind, die Züge mit einer konstanten Geschwindigkeit vorbeifahren und keine Nebengeräusche durch z. B. Unregelmäßigkeiten im Gleis entstehen. Um die Vergleichbarkeit der Messung mit der schalltechnischen Untersuchung sicherzustellen, sollte das derzeitige Betriebsprogramm an der Strecke mit dem aus der schalltechnischen Untersuchung noch weitestgehend übereinstimmen. In Anbetracht dieser Parameter kamen folgende Messgebiete in Frage und wurden nach einer Ortsbesichtigung ausgewählt:

### 5.3.1 Happing – Rosenheim

An der Strecke 5702 Rosenheim – Kiefersfelden (-Kufstein) liegt südlich von Rosenheim der Stadtteil Happing. Der Stadtteil Happing hat keinen Haltepunkt, die nächsten sind im Norden der Bahnhof Rosenheim und im Süden Pfraundorf (Inn), der derzeit jedoch keine Halte mehr aufweist. Ein Überblick über die Situation kann der Abbildung 82 entnommen werden.

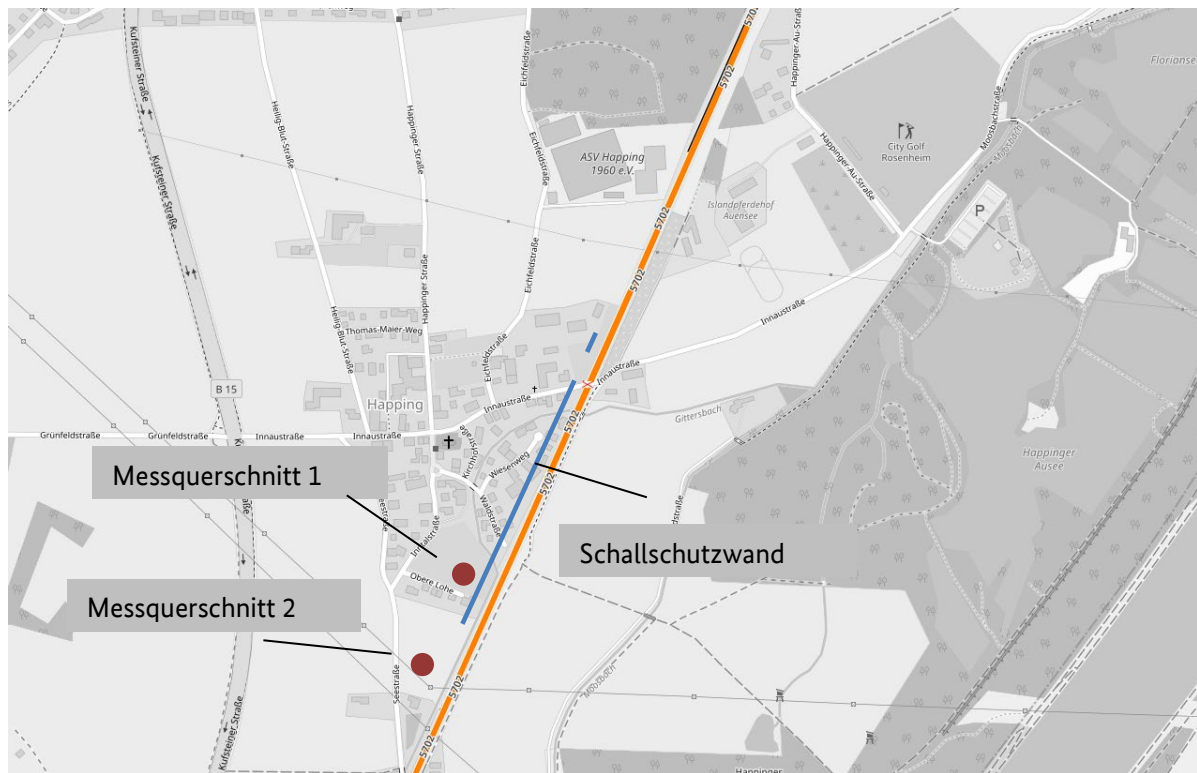


Abbildung 82: Messgebiet Happing mit Schallschutzwand nach Schall 03 2015; Quelle: OpenRailwayMap, 2020

Für diesen Abschnitt wurde im Juni 2017 eine schalltechnische Untersuchung im Rahmen des Lärmsanierungsprogramms nach dem Verfahren der Schall 03 2015 erstellt und eine Schallschutzwand bahnrrechts (westlich) mit einer Länge von knapp 500 m und einer Höhe von 3,0 m über Schienenoberkante vorgeschlagen. Die Schallschutzwand wurde 2017 errichtet.

Am südlichen Ende des Ortsteils befindet sich Wohnbebauung „An der oberen Lohe“. Etwa 60 m südwestlich der letzten Gebäude endet die Schallschutzwand und die Strecke verläuft neben freier und ebener Fläche. In diesem Bereich liegen optimale Bedingungen für eine Vergleichsmessung ohne und mit Schallschutzwand vor. Beide Abschnitte weisen gerade Strecke und ebenes Gelände auf. Die Vorbeifahrtgeschwindigkeiten sind im Regelfall ebenfalls identisch.

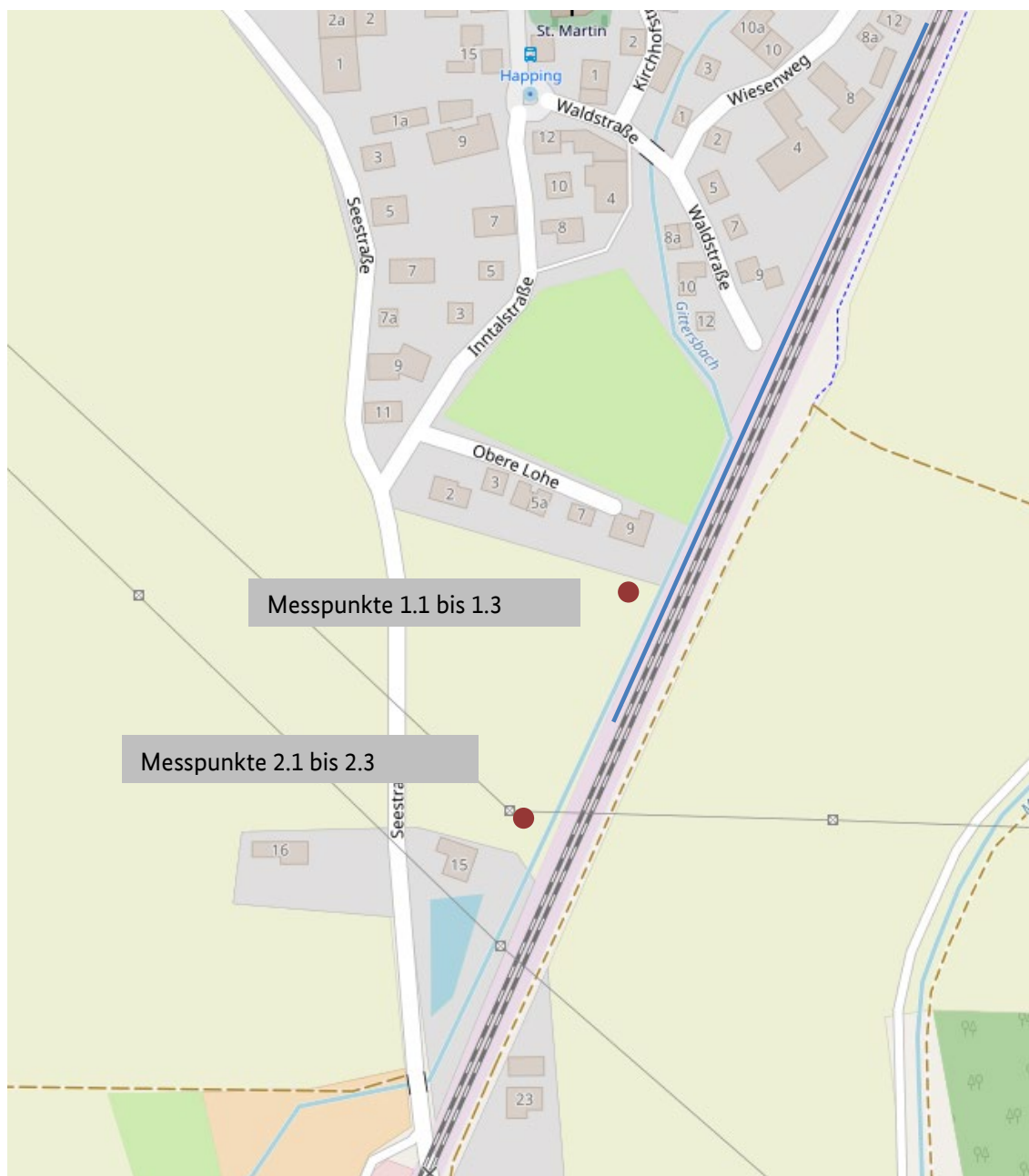


Abbildung 83: Lageplan der beiden Messquerschnitte (Quelle: openstreetmap)

Die beiden Messpunkte wurden jeweils mit drei Mikrofonen in unterschiedlichen Höhen (1,2 m, 3,5 m und 6,3 m über Gelände) ausgestattet. Messpunkt 1 diente als Ersatzmesspunkt neben dem Gebäude (vgl. DIN 45645-1, Nummer 6.1) auf Höhe der Fenster im EG und OG des Gebäudes „Obere Lohe 9“. Der Messpunkt 2 ist der Vergleichsmesspunkt für dasselbe Gebäude, jedoch ohne Schallschutzwand. Die Abstände beider Messpunkte betragen jeweils 27 m zur Gleismitte des nächstgelegenen Gleises. Die Messergebnisse in 3,5 m und 6,3 m Höhe dienen daher im Folgenden als Vergleich zu den Rechenergebnissen der schalltechnischen Untersuchung für das Gebäude „Obere Lohe 9“, Ostfassade (Berechnungspunkt ID 080-9). Die Messpunkte in 1,2 m Höhe dienen zu Vergleichszwecken zu z. B. Effektmessungen zur Wirkung von Schallschutzwänden.

## 5.3.2 Westendorf

An der Strecke Augsburg – Nördlingen liegt ca. 20 km nördlich von Augsburg die Ortsdurchfahrt Westendorf beim km 23,1 bis km 24,3. Bei km 23,5 befindet sich der Haltepunkt Westendorf, der von Regionalbahnen angefahren wird. Alle anderen Zugarten halten nicht.

Für diesen Abschnitt wurde im Mai 2009 eine schalltechnische Untersuchung im Rahmen des Lärmsanierungsprogramms nach dem Verfahren der Schall 03 1990 erstellt. Dabei wurde eine Schallschutzwand bahnrrechts (östlich) mit einer Länge von rd. 400 m und einer Höhe von 3,0 m über Schienenoberkante und bahnlinks (westlich) mit einer Länge von rd. 1.000 m und einer Höhe von 3,0 m über Schienenoberkante vorgeschlagen. Die Schallschutzwand wurde Anfang 2015 fertiggestellt.



Abbildung 84: Messgebiet mit Schallschutzwand nach Schall 03, Stand 1990 (Quelle: OpenRailwayMap, 2020)

Am nördlichen Ende des Ortes befindet sich bahnrechts Wohnbebauung am „Rosenweg“. Etwa 70 m nördlich des Endes der Schallschutzwand bahnrechts beginnt auf dieser Seite freies Gelände in ebenem Gelände. In diesem Bereich lagen optimale Bedingungen für eine Vergleichsmessung ohne und mit Schallschutzwand vor. Beide Abschnitte weisen gerade Strecke und ebenes Gelände auf. Die Vorbeifahrtsgeschwindigkeiten sind im Regelfall identisch, lediglich die in der Gesamtemission untergeordneten Regionalbahnen halten südlich der beiden Messpunkte und beschleunigen oder verzögern im Bereich der Messpunkte.



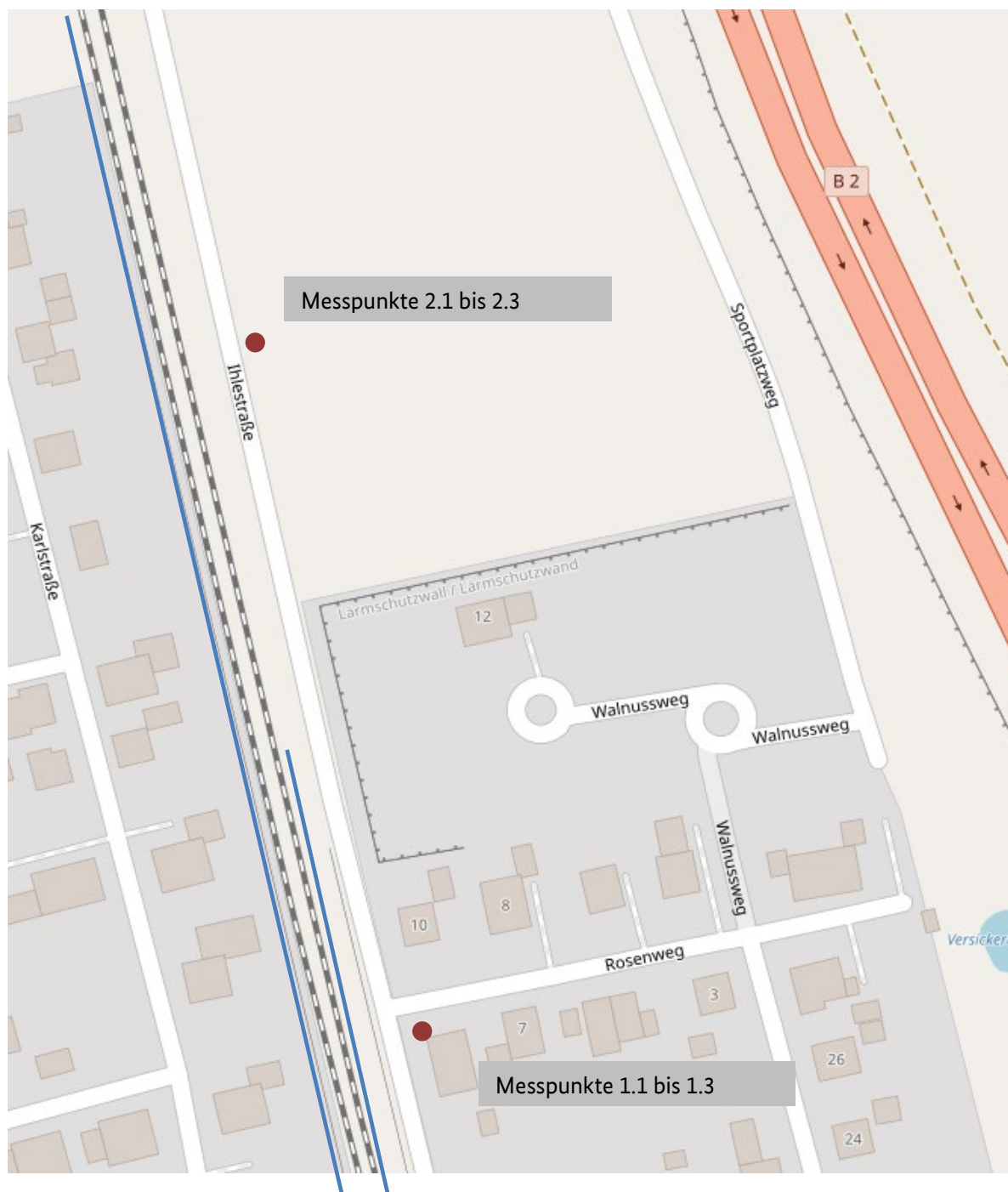


Abbildung 85: Lageplan der beiden Messquerschnitte (Quelle: openstreetmap)

Die beiden Messpunkte wurden jeweils mit drei Mikrofonen in unterschiedlichen Höhen (1,2 m, 3,5 m und 6,3 m über Gelände) ausgestattet. Messpunkt 1 diente als Ersatzmesspunkt neben dem Gebäude (vgl. DIN 45645-1, Nummer 6.1) auf Höhe der Fenster im EG und OG des Gebäudes „Rosenweg 10“. Der Messpunkt 2 ist der Vergleichsmesspunkt für dasselbe Gebäude, jedoch ohne Schallschutzwand. Die Abstände beider Messpunkte betragen jeweils 20 m zu Gleismitte des nächstgelegenen Gleises. Die Messergebnisse in 3,5 m und 6,3 m Höhe dienen daher im Folgenden als Vergleich zu den Rechenergebnissen der schalltechnischen Untersuchung für das Gebäude „Rosenweg 10“, Westfassade (Berechnungspunkt Obj.-Nr. 267). Die Messpunkte in 1,2 m Höhe dienen zu Vergleichszwecken zu z. B. Effektmessungen zur Wirkung von Schallschutzwänden.

## 5.4 Messdurchführung

### 5.4.1 Messverfahren

Die Messdurchführung wurde als Immissionsmessung nach Nummer 8.4 der DIN 45642 Messung von Verkehrsgeräuschen durchgeführt. Demnach wurden am Immissionsort die Einzelereignispegel  $L_{T0}$  von Zugvorbeifahrten gemessen. Der Immissionsort ergab sich aus der Aufgabenstellung. In vorliegendem Fall wurde jeweils ein Ersatzmesspunkt neben einem der am stärksten betroffenen Gebäude im Sinne von Nummer 6.1 der DIN 45645-1 gewählt. Der Einzelereignispegel  $L_{T0}$  gibt den auf 1 s umgerechneten Mittelungspegel einer Zugfahrt wieder. Mittels des Verfahrens in Anhang B.4 der Norm kann über die Bildung eines über Zugarten gemittelten Einzelereignispegels und der Berücksichtigung der Verkehrsstärken der Mittelungspegel am Immissionsort berechnet werden.

Das Verfahren bietet den Vorteil, dass sowohl die tatsächlich bei der Messung festgestellte Verkehrsstärke als auch die Verkehrsstärke aus der schalltechnischen Untersuchung berücksichtigt werden können. Voraussetzung hierfür ist, dass die Zugarten der schalltechnischen Untersuchung den gemessenen Zugarten zugeordnet werden können. Dies war vorliegend an beiden Untersuchungsgebieten der Fall, wobei die differenzierte Aufteilung der Zugarten hinsichtlich Zuglänge (insbesondere bei Güterzügen) nicht weiterverfolgt wurde. Die Zugarten wurden daher in weniger Klassen zusammengefasst.

### 5.4.2 Messgeräte

Die Tabelle 13 enthält eine Auflistung der verwendeten Messgeräte.

TABELLE 13: MESSGERÄTE

<b>Mikrofone</b>	6 x Microtech-Gefell MK255 und MV210 Kalibrierung durch ein akkreditiertes Kalibrierlabor nach DIN EN ISO/IEC 17025 (letzte Kalibrierung 13.02.2020) Eichschein vom 07.02.2020	
<b>Datenerfassung</b>	8-Kanal-Messsystem Soundbook, Klasse 1 nach IEC 60651, Sinus Messtechnik; S.-Nr. 07378, Kalibrierung durch ein akkreditiertes Kalibrierlabor nach DIN EN ISO/IEC 17025 (letzte Kalibrierung 13.02.2020) Eichschein vom 07.02.2020	
<b>Schallkalibrator</b>	PCB CAL200, S.-Nr. 12625 Kalibrierung durch ein akkreditiertes Kalibrierlabor nach DIN EN ISO/IEC 17025 (letzte Kalibrierung 13.02.2020) Eichschein vom 23.01.2020	
<b>Schienenrauheit</b>		
<b>Schienenrauheitsmessgerät</b>	m   rail trolley mit Software m   rail trolley analyse	
<b>Gleisabklingrate</b>		
<b>Impulshammer</b>	PCB 086C03, S.-Nr. 29376	Kalibrierung durch ein akkreditiertes Kalibrierlabor nach DIN EN ISO/IEC 17025 (letzte Kalibrierung 14.02.2020 in Messkette mit Sinus Messtechnik; S.-Nr. 07378)
<b>Beschleunigungsaufnehmer</b>	PCB 353B33 S.-Nr. 146366	

Die Luftschallmesswerte wurden während der Messung mittels Datenerfassungssystem abgespeichert. Als Messwert wurden der Zeitverlauf des A-bewerteten Pegels in der Zeitbewertung Fast, der äquivalente Dauerschallpegel  $L_{Aeq}$  und der Maximalpegel  $L_{AFmax}$  je Zugvorbeifahrt gemäß DIN 45642 erfasst. Außerdem wurden sämtliche Messungen spektral in Terzbandbreite und als Tonsignal aufgezeichnet, um spätere Nachanalysen zu ermöglichen.

### 5.4.3 Messzeit und Witterungsbedingungen

#### Happing

Die Messungen fanden vom 21.10.2020, 17.30 Uhr bis 22.10.2020, 6.00 Uhr sowie von 13.20 Uhr bis 16.30 Uhr statt. In der Tabelle 14 sind die während der Messung herrschenden Witterungsbedingungen dargestellt.

TABELLE 14: WITTERUNGSBEDINGUNGEN LUFTSCHALLMESSUNG HAPPING

Temperatur	Wind	Niederschlag	Rel. Luftfeuchte
5 °C bis 16 °C	windstill	sonnig, trocken	80 %

Während der Messzeiten traten für Schallmessungen günstige Witterungsbedingungen auf. Bei sämtlichen Messungen waren die Windgeschwindigkeiten vernachlässigbar.

Fremdgeräusche, die das Messergebnis beeinflussen könnten, traten bei den Messungen nicht auf.

#### Westendorf

Die Messungen fanden vom 25.11.2020, 12.30 Uhr bis 26.11.2020, 6.00 Uhr statt. In der Tabelle 15 sind die während der Messung herrschenden Witterungsbedingungen dargestellt.

TABELLE 15: WITTERUNGSBEDINGUNGEN LUFTSCHALLMESSUNG WESTENDORF

Temperatur	Wind	Niederschlag	Rel. Luftfeuchte
1 °C bis 5 °C	windstill	dunstig, ohne Niederschlag	90 %

Während der Messzeiten traten für Schallmessungen günstige Witterungsbedingungen auf. Bei sämtlichen Messungen waren die Windgeschwindigkeiten vernachlässigbar.

Fremdgeräusche, die das Messergebnis beeinflussen könnten, traten bei den Messungen nicht auf.

### 5.4.4 Gleiszustand der Messquerschnitte

Zur Kontrolle eines möglichen Unterschieds des Gleiszustands zwischen Messquerschnitten ohne und mit Wand (und damit eines Einflusses auf die Geräuschenstehung) wurden die Schienenrauheit und die Gleisabklingrate der beiden Querschnitte nach den Vorgaben der DIN EN 15610 bzw. DIN EN 15461 gemessen.

Die Rauheitsmessungen an den Schienen geben ein Maß für die Rauheit der Schienenoberfläche, auf der das Rad abrollt, in Dezibel wieder. Je höher die Rauheit desto höher ist das beim Abrollen des Rades entstehende Geräusch. Die Rauheitsmessungen wurden in jeweils beiden Messquerschnitten auf beiden

Gleisen und beiden Schienen durchgeführt. Der jeweilige Messabschnitt wurde entsprechend den Vorgaben der Norm mit einer Länge von jeweils 15 m beidseitig symmetrisch zur mittleren Mikrofonebene gewählt. Je Messpunkt wurden 3 Spuren mit einem Abstand von -5 mm, 0 mm und +5 mm von der Fahrspiegelmitte abgetastet.



Abbildung 86: Messgerät zur Bestimmung der Schienenrauheit m | rail trolley

Das Schwingverhalten der Schiene beeinflusst deren Schallabstrahlung. Bei niedriger Gleisabklingrate wird die Schwingung in der Schiene über eine größere Länge weitergeleitet und es ist eine erhöhte Schallabstrahlung zu verzeichnen. Daher wurden zur Überprüfung der Vergleichbarkeit der Messquerschnitte die Abklingraten der Schiene gemessen. Es wurden die Gleisabklingraten sowohl der vertikalen als auch der transversalen Biegewelle in der Schiene in Längsrichtung gemessen.

Die Auswahl der Prüfabschnitte im Erprobungs- und Referenzabschnitt erfolgte nach den Abschnitten 6.1 und 6.2 der DIN EN 15461. Nach einer Sichtprüfung hinsichtlich der Beschaffenheit des Gleises (keine Schienenstöße, lose Befestigungen, usw.) wurde zunächst eine Konsistenzprüfung für die direkte Übertragungsfunktion an mindestens drei Positionen des Beschleunigungsaufnehmers vorgenommen. Die gewählte Aufnehmerpositionen ist die Indexposition 0. Ausgehend von dieser Position 0 wurden die direkte Übertragungsfunktion (Direkte FRF) und die weiteren Übertragungsfunktionen durch unterschiedliche Hammerschlagpositionen für die 28 Positionen gemäß DIN EN 15461 gemessen.

Die Messungen der Schienenrauheit und der Gleisabklingrate wurden zwischen den Schallmessungen in Happing und Westendorf tagsüber durchgeführt.

TABELLE 16: MESSZEITRÄUME RAUHEITSMESSUNG UND MESSUNG DER GLEISABKLINGRATE

Untersuchungsgebiet	Messzeitraum
Happing	12.11.2020
Westendorf	17.11.2020

## 5.5 Messergebnisse

Die Messergebnisse für das nach Schall 03 2015 untersuchte Gebiet (Happing) und das nach alter Schall 03 1990 untersuchte Gebiet sind in folgenden Abschnitten dargestellt:

### 5.5.1 Messergebnisse Happing

#### Vergleich der beiden Messquerschnitte

Die Ergebnisse der Rauheitsmessung am Messquerschnitt 1 mit Schallschutzwand und Messquerschnitt 2 ohne Schallschutzwand sind für die jeweils 4 Schienen in folgender Abbildung 87 gegenübergestellt.

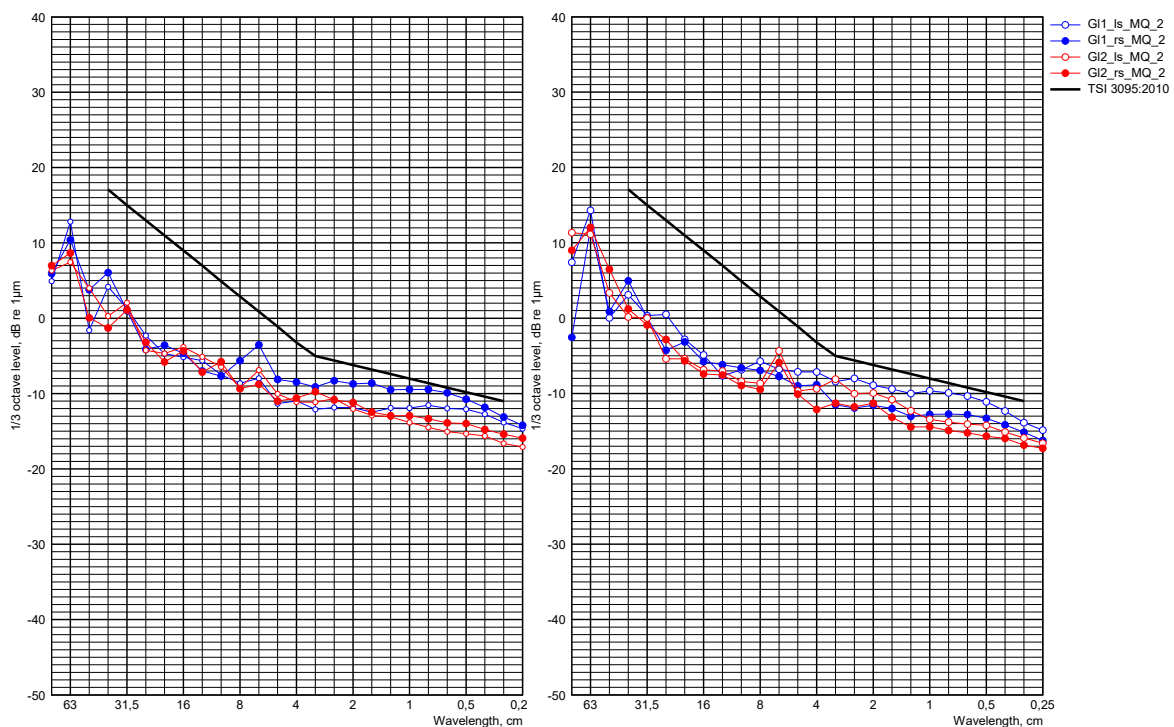


Abbildung 87: Ergebnisse der Rauheitsmessungen in Happing nach DIN 15610 für Messquerschnitt 1 mit Wand (links) und Messquerschnitt 2 ohne Wand (rechts)

Die Diagramme stellen die Rauheit der Fahrfläche als Pegelgröße in Bezug zum Bezugswert von 1 µm (0 dB entspricht 1 µm) dar. Da die (geometrische) Wellenlänge von Unebenheiten (und damit der Rauheit) die Frequenz des Geräusches beim Abrollen des Rades beeinflusst, wird der Pegel der Rauheit über der Wellenlänge in Terzbandbreite aufgezeichnet. Lange Wellenlängen verursachen dabei tieffrequente Geräuschanteile und kurze Wellenlängen hochfrequente Geräuschanteile. Um dies in Bezug zum entstehenden Geräusch intuitiv darzustellen, ist die Wellenlänge von langen zu kurzen Wellenlängen von links nach rechts dargestellt. Das Grenzspektrum der DIN EN ISO 3095 ist hier als Anhalt für ein glattes Gleis mit eingezeichnet.

Die Ergebnisse zeigen, dass beide Messquerschnitte eine geringe Rauheit aufweisen. Sämtliche Schienen weisen in allen Wellenlängenbereichen eine geringere Rauheit unterhalb des Grenzspektrums nach DIN EN ISO 3095 auf. Der Einzahlwert  $L_{\lambda,CA}$  der Schienenrauheit in dB beträgt in vorliegendem Fall für eine Vorbeifahrtgeschwindigkeit von 120 km/h über beide Gleise gemittelt 4,3 dB in Messquerschnitt 1 und 4,2 dB in Messquerschnitt 2. Dieser Wert ist proportional zur Lärmentwicklung. Entsprechend der üblichen Einstufung dieser Einzahlwerte handelt es sich um eine glatte Schiene.

Die Ergebnisse der Gleisabklingrate (track decay rate - TDR) sind vergleichend in der Abbildung 88 dargestellt.

Die Gleisabklingraten geben die Abnahme der Schienenschwingung mit dem Abstand von einem Anregungspunkt (d.i. der Abrollpunkt des Rades) wieder. Je geringer die Abklingrate desto weiter wird die Schwingung in der Schiene weitergeleitet und desto höher ist die Schallabstrahlung. In den Diagrammen ist die Abklingrate in Dezibel je Meter über der Schwingfrequenz dargestellt. Es wird zwischen der Schwingung in horizontaler und vertikaler Richtung unterschieden.

Die Gleisabklingraten sind über beide Schienen jedes Gleises gemittelt dargestellt. Es zeigt sich bei der horizontalen Abklingrate in den relevantesten Frequenzbereichen zwischen 500 und 1.000 Hz kein relevanter Unterschied zwischen den Messquerschnitten ohne und mit Wand. Die vertikale Gleisabklingrate unterscheidet sich zwischen den beiden Querschnitten ohne und mit Wand auf Gleis 1 um 2 bis 3 dB/m, wobei die höhere Abklingrate am Messquerschnitt mit Wand auftritt. Tendenziell ergibt sich dadurch daher eine leichte Überschätzung der Minderungswirkung der Wand durch die Messung. (Die vertikale Abklingrate auf Gleis 2 ist aufgrund eines Datenfehlers nicht dargestellt).

### **Ergebnisse der Luftschallmessungen**

Die Zugvorbeifahrten in Happing wurden getrennt nach drei Zugkategorien ausgewertet. Dies sind die Elektrotriebzüge ET 325 der Bayerischen Oberlandbahn (Meridian), Fernverkehrszüge (IC der DB AG und Railjet der ÖBB) sowie Güterzüge. Eine detaillierte Aufstellung der Zugvorbeifahrten ist dem Anhang 10.4 (Messprotokoll) zu entnehmen.

Die Tabelle 17 zeigt, dass die Güterzüge sowohl hinsichtlich der Anzahl als auch der Einzelereignispegel gegenüber den anderen Zugkategorien deutlich höhere Werte aufweisen. Die Einzelereignispegel enthalten neben der Pegelhöhe auch die Information über die Dauer der Vorbeifahrt, sodass aus dem Vergleich der Einzelereignispegel direkt der Einfluss auf den Mittelungspegel bzw. Beurteilungspegel abgeschätzt werden kann. Weiterhin kann aus den Vergleichen der Messpunkte in Messquerschnitt 1 und 2 direkt die Wirksamkeit der Schallschutzwand hinsichtlich einzelner Zugkategorien in den verschiedenen Mikrofonhöhen herausgelesen werden.

Gewichtet man die Einzelereignispegel entsprechend Gleichung (B.7) der DIN 45642 mit den gemessenen Verkehrsstärken und mittelt man diese über den Beurteilungszeitraum, ergeben sich die Immissionspegel für die Beurteilungszeiträume Tag und Nacht am Messtag (siehe Tabelle 18)

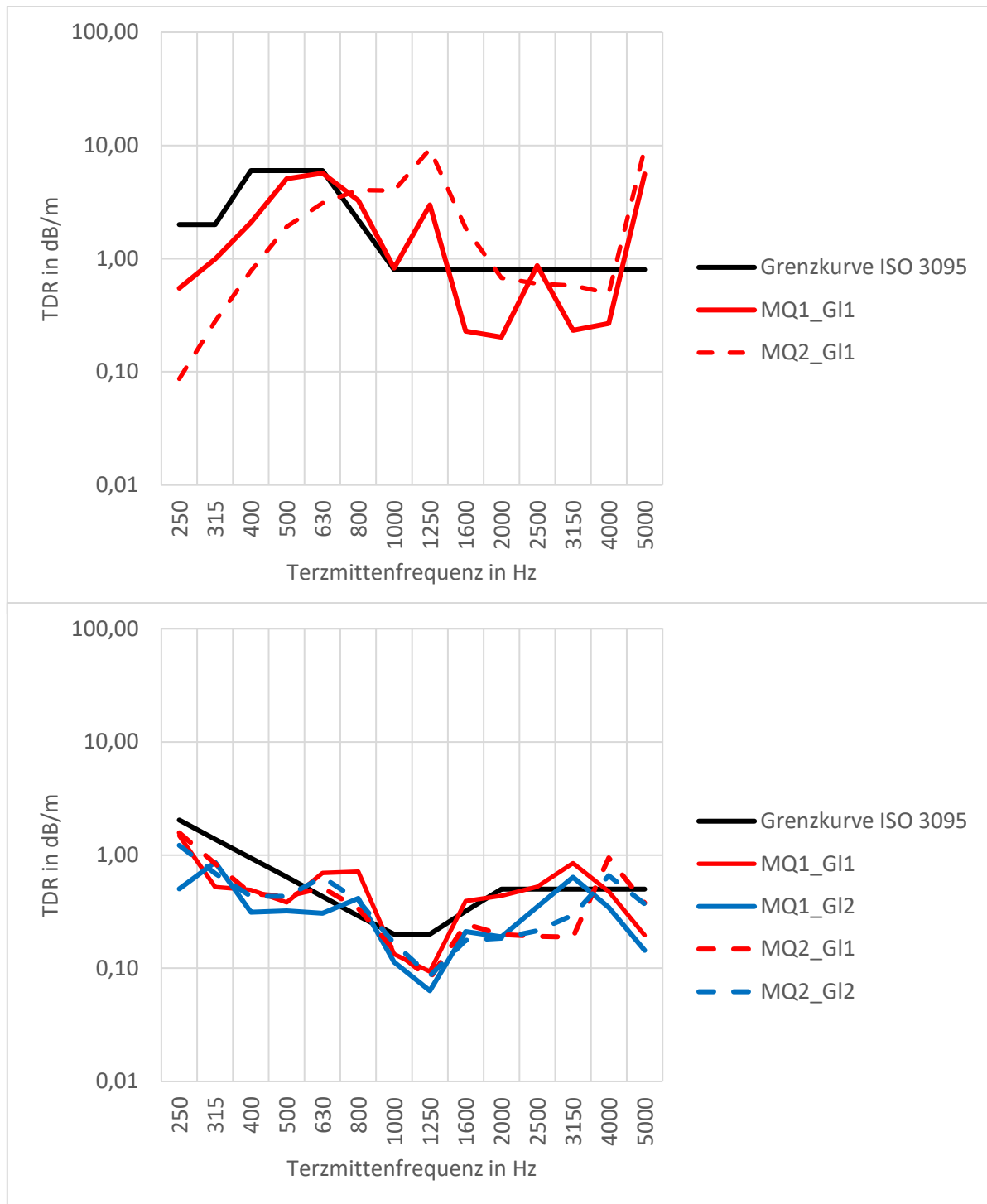


Abbildung 88: Ergebnisse der Messungen der Gleisabklingraten in Happing nach DIN 15461, vertikal (oben) und horizontal (unten) für Messquerschnitt 1 mit Wand und Messquerschnitt 2 ohne Wand

TABELLE 17: GEMITTELTE EINZELEREIGNISPEGEL IN HAPPING JE ZUGKATEGORIE UND GLEIS SOWIE ANZAHL ZÜGE UND MITTLERE GESCHWINDIGKEIT IM MESSZEITRAUM

Zug- kate- gorie	Rich- tung	Anzahl Züge		Mitt- lere Ge- schw.  $v_m$ in km/h	Mittlere Einzelereignispegel in dB(A)					
		Tag	Nacht		MQ 1 mit Wand			MQ 2 ohne Wand		
					Höhe	Höhe	Höhe	Höhe	Höhe	Höhe
				5,6 m	3,5 m	1,2 m	5,6 m	3,5 m	1,2 m	
ET325	Kief.	8	3	110	73,4	72,0	71,6	83,8	83,5	83,1
FV	Kief.	15	1	100	77,9	76,5	75,7	87,2	86,9	86,2
GZ	Kief.	11	18	82	83,4	81,8	81,4	93,9	93,5	93,5
ET325	Ros.	7	3	107	72,6	70,9	69,6	79,7	78,5	76,9
FV	Ros.	12	0	91	75,6	73,5	71,6	83,3	82,4	80,3
GZ	Ros.	14	15	75	84,3	81,6	80,1	93,2	92,6	91,2

TABELLE 18: MESSTECHNISCH ERMITTELTE IMMISSIONSPEGEL IN HAPPING AUF GRUNDLAGE DER GEMESSENEN VERKEHRSTÄRKE IM VERGLEICH ZU BERECHNETEN BEURTEILUNGSPEGELN AUS SCHALLTECHNISCHER UNTERSUCHUNG ZUR LÄRMSANIERUNG

Messwerte in dB(A)	Beurteilungszeitraum Tag			Beurteilungszeitraum Nacht		
	Höhe			Höhe		
	5,6 m	3,5 m	1,2 m	5,6 m	3,5 m	1,2 m
<b>Messquerschnitt 1 mit Wand</b>	54,6	52,5	51,5	54,5	52,4	51,6
<b>Messquerschnitt 2 ohne Wand</b>	64,1	63,6	62,9	64,3	63,8	63,3
<b>Pegelminderung</b>	-9,5	-11,1	-11,4	-9,8	-11,4	-11,7
<b>Beurteilungspegel aus schalltechnischer Untersuchung</b>						
<b>Obere Lohe 9, Ost mit SSW</b>	64,1	62,8	-	64,2	63,0	-
<b>Obere Lohe 9, Ost ohne SSW</b>	75,3	74,1	-	75,4	74,2	-
<b>Pegelminderung</b>	-11,2	-11,3		-11,2	-11,2	

Es zeigt sich, dass die Messwerte erheblich unterhalb der prognostizierten Beurteilungspegel liegen. Mit und ohne Abschirmung zeigen sich Differenzen von gerundet 10 dB bis 11 dB, wobei die Messwerte unterhalb der Rechenwerte liegen.

Weiterhin zeigt die berechnete Pegelminderung durch die Schallschutzwand eine sehr gute Übereinstimmung mit dem messtechnisch ermittelten Unterschied zwischen Messquerschnitt mit und ohne Wand. Während die gemessene Pegeldifferenz je nach Mikrofonhöhe zwischen gerundet 10 dB und 11 dB liegt (in geringen Höhen sogar 12 dB), beträgt die rechnerische Pegelminderung 11 dB.



Für die Unterschiede zwischen Messung und Berechnung lassen sich folgende Ursachen ermitteln:

- **Zahl der Züge**  
Der schalltechnischen Untersuchung zur Lärmsanierung liegen die Verkehrsmengen der Prognose 2025 zugrunde. Darin sind (unterteilt in Subkategorien) insgesamt 48 Nahverkehrszüge, 76 Fernverkehrszüge und 188 Güterzüge in 24 Stunden prognostiziert. Demgegenüber traten bei der Messung (hochgerechnet auf 16 Stunden tagsüber) 45 Nahverkehrszüge, 60 Fernverkehrszüge und 124 Güterzüge in 24 Stunden auf. Gerade die schalltechnisch dominierenden Güterzüge verkehren in einer geringeren Frequenz als für 2025 prognostiziert. Tagsüber fällt diese Differenz mit 119 prognostizierten gegenüber 53 gemessenen Güterzügen besonders groß aus. Der schalltechnische Effekt dieser geringeren Verkehrsmenge beträgt rund 3,5 dB.
- **Umrüstgrad der Güterzüge auf Verbundstoffbremsen**  
In der schalltechnischen Untersuchung wird entsprechend den Verfügungen des Eisenbahn-Bundesamts ein Anteil von 80 % der Güterwagen mit Verbundstoffklotzbremsen angesetzt. Die Messungen fanden im Oktober 2020 statt. Entsprechend dem nationalen Fahrzeugregister [43] waren im Oktober 2020 71,7 % der aktiven Güterwagen auf leise Bremsbauarten umgerüstet. Nimmt man bei der Messung einen Umrüstgrad auf Verbundstoffklotzbremsen von gerundet 72 % an, ergibt sich entgegen den Effekten der Zahl, Geschwindigkeiten und Längen der Züge rechnerisch eine Pegelerhöhung von 0,4 dB für Güterzüge.
- **Zuggeschwindigkeiten**  
Die real gemessenen Zuggeschwindigkeiten unterschreiten die für die jeweiligen Zugarten anzusetzenden Regelgeschwindigkeiten im Mittelwert deutlich. Während bei der schalltechnischen Prognose für Güterzüge eine Geschwindigkeit von 100 km/h bzw. 120 km/h angesetzt wird, betrug die mittlere Vorbeifahrtgeschwindigkeit der Güterzüge etwa 80 km/h. Der schalltechnische Effekt einer Geschwindigkeitsreduzierung von 100 auf 80 km/h beträgt rund 2 dB.
- **Zuglängen**  
Bei den Zuglängen ergeben sich ebenfalls Differenzen zwischen Prognose und gemessenen Zuglängen. In der Prognose werden Güterzüge mit 39 Güterwagen berechnet. Die bei den Messungen gezählten Güterwagen betragen im Mittel 22 Wagen je Güterzug. Der schalltechnische Effekt der reduzierten mittleren Zuglänge beträgt rund 2,5 dB.

Somit lassen sich allein durch die Zugparameter 8 dB Differenz zwischen Messung und Berechnung erklären. Die (je nach betrachtetem Messpunkt) verbleibenden 3 dB Pegelunterschied zwischen Messung und Berechnung können durch den glatten Schienenzustand (vgl. Abbildung 87) erklärt werden.

Die gemessenen Einzelereignispegel  $L_{T0}$  lassen sich jedoch auch mit den Zugzahlen aus der Prognose 2025 gewichten. Hierbei wird jedoch lediglich die Zahl der Züge in der Prognose berücksichtigt. Berücksichtigt man die höheren Werte, ergeben sich die Immissionspegel entsprechend Tabelle 19.

## 5.5.2 Messergebnisse Westendorf

### Vergleich der beiden Messquerschnitte

Die Ergebnisse der Rauheitsmessung am Messquerschnitt 1 mit Schallschutzwand und Messquerschnitt 2 ohne Schallschutzwand sind für die jeweils 4 Schienen in der Abbildung 89 gegenübergestellt.

TABELLE 19: MESSTECHNISCH ERMITTELTE IMMISSIONSPEGEL IN HAPPING AUF GRUNDLAGE DER PROGNOTIZIERTEN VERKEHRSTÄRKE IM VERGLEICH ZU BERECHNETEN BEURTEILUNGSPEGELN AUS SCHALLTECHNISCHER UNTERSUCHUNG ZUR LÄRMSANIERUNG

Messwerte in dB(A)	Beurteilungszeitraum Tag			Beurteilungszeitraum Nacht		
	Höhe			Höhe		
	5,6 m	3,5 m	1,2 m	5,6 m	3,5 m	1,2 m
<b>Messquerschnitt 1 mit Wand</b>	57,6	55,4	54,5	57,9	55,7	54,8
<b>Messquerschnitt 2 ohne Wand</b>	67,2	66,7	66,1	67,5	67,0	66,5
<b>Pegelminderung</b>	-9,6	-11,3	-11,6	-9,6	-11,3	-11,7
<b>Beurteilungspegel aus schalltechnischer Untersuchung</b>						
<b>Obere Lohe 9, Ost mit SSW</b>	64,1	62,8	-	64,2	63,0	-
<b>Obere Lohe 9, Ost ohne SSW</b>	75,3	74,1	-	75,4	74,2	-
<b>Pegelminderung</b>	-11,2	-11,3	-	-11,2	-11,2	-

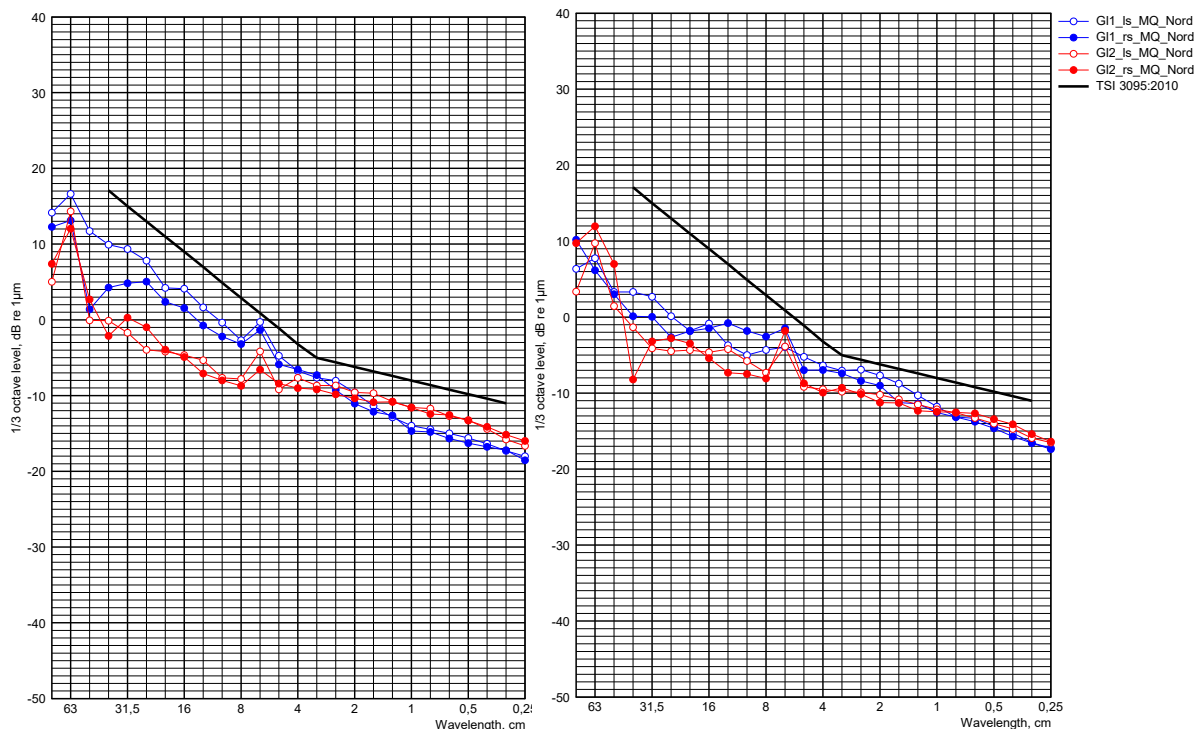


Abbildung 89: Ergebnisse der Rauheitsmessungen in Westendorf nach DIN 15610 für Messquerschnitt 1 mit Wand (links) und Messquerschnitt 2 ohne Wand (rechts)

Die Ergebnisse zeigen auch hier eine geringe Rauheit der Messquerschnitte. Sämtliche Schienen weisen in allen Wellenlängenbereichen eine Rauheit unterhalb des Grenzspektrums nach DIN EN ISO 3095 auf. Der Einzahlwert  $L_{\lambda,CA}$  der Schienenrauheit in dB beträgt in vorliegendem Fall für eine Vorbeifahrtgeschwindigkeit von 120 km/h über beide Gleise gemittelt 4,6 dB in Messquerschnitt 1 und 4,8 dB in Messquerschnitt 2. Dieser Wert ist proportional zur Lärmentwicklung. Entsprechend der üblichen Einstufung dieser Einzahlwerte handelt es sich um eine geschliffene Schiene.

Die Ergebnisse der Gleisabklingrate (track decay rate – TDR) sind vergleichend in der Abbildung 90 dargestellt.

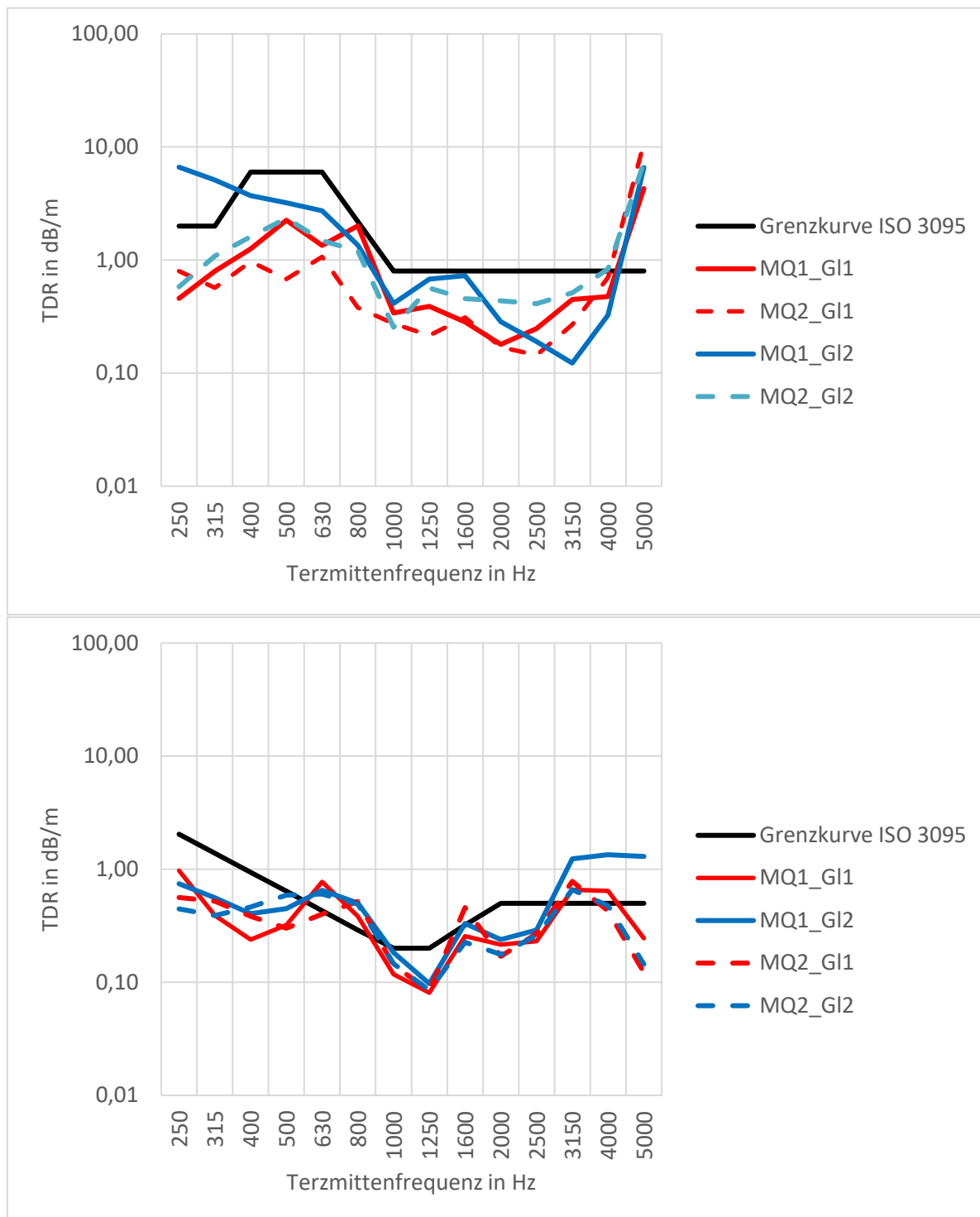


Abbildung 90: Ergebnisse der Messungen der Gleisabklingraten in Westendorf nach DIN 15461, vertikal (oben) und horizontal (unten) für Messquerschnitt 1 mit Wand und Messquerschnitt 2 ohne Wand

Die Gleisabklingraten sind über beide Schienen jedes Gleises gemittelt dargestellt. Es zeigt sich weder bei der horizontalen noch der vertikalen Abklingrate ein relevanter Unterschied zwischen den Messquerschnitten ohne und mit Wand.

### Ergebnisse der Luftschallmessungen

Die Zugvorbeifahrten in Westendorf wurden getrennt nach sechs Zugkategorien ausgewertet. Als Nahverkehrszüge verkehren in diesem Bereich Elektrotriebzüge der Baureihen ET440 und ET445 (Doppelstocktriebzug) sowie lokbespannte Doppelstockzüge. Weiterhin verkehren IC und ICE als Fernverkehrszüge sowie Güterzüge. Eine detaillierte Aufstellung der Zugvorbeifahrten ist dem Anhang (Messprotokolle) zu entnehmen.

TABELLE 20: GEMITTELTE EINZELEREIGNISPEGEL IN WESTENDORF JE ZUGKATEGORIE UND GLEIS SOWIE ANZAHL ZÜGE UND MITTLERE GESCHWINDIGKEIT IM MESSZEITRAUM IN WESTENDORF

Zugkategorie	Richtung	Anzahl Züge		Mittlere Geschw. $v_m$ in km/h	Mittlere Einzelereignispegel in dB(A)					
		Tag	Nacht		MQ 1 mit Wand			MQ 2 ohne Wand		
					Höhe 6,3 m	Höhe 3,5 m	Höhe 1,2 m	Höhe 6,3 m	Höhe 3,5 m	Höhe 1,2 m
DoSto	Aug.	1	0	73	75,8	72,1	67,9	83,7	83,0	79,0
ET440	Aug.	24	19	91	73,0	69,2	66,4	83,9	83,7	77,9
ET445	Aug.	6	5	115	74,4	71,2	68,4	82,9	82,7	77,4
GZ	Aug.	24	12	93	85,8	80,8	77,7	94,1	93,7	88,7
IC	Aug.	1	1	151	82,7	79,0	75,4	90,4	90,9	85,4
ICE	Aug.	5	4	159	81,0	77,8	74,9	89,4	89,3	83,7
DoSto	Don.	2	2	62	75,0	72,6	68,8	83,3	83,0	79,3
ET440	Don.	19	16	101	71,2	68,8	66,5	81,7	81,5	76,4
ET445	Don.	5	4	114	72,3	70,1	68,7	82,3	82,0	77,5
GZ	Don.	28	15	90	84,6	81,3	78,5	95,0	94,5	90,3
IC	Don.	1	1	182	85,0	83,4	80,7	92,8	93,3	89,5
ICE	Don.	7	5	156	81,2	79,2	77,2	90,0	90,1	85,5

In der Tabelle 20 zeigt sich, dass die Güterzüge sowohl hinsichtlich der Anzahl als auch der Einzelereignispegel gegenüber den anderen Zugkategorien deutlich höhere Werte aufweisen. Die Einzelereignispegel enthalten neben der Pegelhöhe auch die Information über die Dauer der Vorbeifahrt, sodass aus dem Vergleich der Einzelereignispegel direkt der Einfluss auf den Mittelungspegel bzw. Beurteilungspegel abgeschätzt werden kann. Weiterhin kann aus den Vergleichen der Messpunkte in Messquerschnitt 1 und 2 direkt die Wirksamkeit der Schallschutzwand hinsichtlich einzelner Zugkategorien in den verschiedenen Mikrofonhöhen herausgelesen werden.

Gewichtet man die Einzelereignispegel entsprechend Gleichung (B.7) der DIN 45642 mit den gemessenen Verkehrsstärken und mittelt man diese über den Beurteilungszeitraum, ergeben sich die Immissionspegel für die Beurteilungszeiträume Tag und Nacht am Messtag entsprechend Tabelle 21:

TABELLE 21: MESSTECHNISCH ERMITTELTE IMMISSIONSPEGEL IN WESTENDORF AUF GRUNDLAGE DER GEMESSENEN VERKEHRSTÄRKE IM VERGLEICH ZU BERECHNETEN BEURTEILUNGSPEGELN AUS SCHALLTECHNISCHER UNTERSUCHUNG ZUR LÄRMSANIERUNG

Messwerte in dB(A)	Beurteilungszeitraum Tag			Beurteilungszeitraum Nacht		
	Höhe			Höhe		
	6,3 m	3,5 m	1,2 m	6,3 m	3,5 m	1,2 m
<b>Messquerschnitt 1 mit Wand</b>	55,0	51,3	48,5	54,9	50,9	48,0
<b>Messquerschnitt 2 ohne Wand</b>	64,4	64,0	59,4	64,3	63,8	59,3
<b>Pegelminderung</b>	-9,4	-12,7	-10,9	-9,4	-12,9	-11,3
<b>Beurteilungspegel aus schalltechnischer Untersuchung</b>						
<b>Rosenweg 10, West mit SSW</b>	67	64	-	65	62	-
<b>Rosenweg 10, West ohne SSW</b>	76	75	-	74	74	-
<b>Pegelminderung</b>	-9	-11		-9	-12	

Auch hier zeigt sich, dass die Messwerte erheblich unterhalb der prognostizierten Beurteilungspegel liegen. Die Differenzen betragen 10 dB bis zu 13 dB, wobei die Messwerte unterhalb den Rechenwerten liegen. Auffällig ist hier im Vergleich zu Happing (vgl. Tabelle 18) die hohe gemessene Pegelminderung für die mittlere Mikrofonhöhe bei 3,5 m. Da sich das Mikrofon hier in etwa auf Höhe der Beugungskante der Schallschutzwand befindet, können kleine Abweichungen in der Mikrofonhöhe größere Unterschiede verursachen.

Weiterhin zeigt die berechnete Pegelminderung durch die Schallschutzwand ebenfalls eine sehr gute Übereinstimmung mit dem messtechnisch ermittelten Unterschied zwischen Messquerschnitt mit und ohne Wand. Während die gemessene Pegeldifferenz je nach Mikrofonhöhe zwischen gerundet 9 dB und 13 dB liegt, beträgt die rechnerische Pegelminderung zwischen 9 dB und 12 dB.

Für die Unterschiede zwischen Messung und Berechnung lassen sich folgende Ursachen ermitteln:

- **Zahl der Züge**  
Der schalltechnischen Untersuchung zur Lärmsanierung liegen die Verkehrsmengen der Prognose 2015 zugrunde. Darin sind (unterteilt in Subkategorien) insgesamt 90 Nahverkehrszüge, 26 Fernverkehrszüge und 174 Güterzüge in 24 Stunden prognostiziert. Demgegenüber traten bei der Messung (hochgerechnet auf 16 Stunden tagsüber) 137 Nahverkehrszüge, 33 Fernverkehrszüge und 110 Güterzüge in 24 Stunden auf. In diesem Bereich dominieren schalltechnisch sowohl Güterzüge als auch Fernverkehrszüge. Diese Zugkategorien sind in der Prognose mit insgesamt 200 Vorbeifahrten und in der Messung mit 142 Vorbeifahrten berücksichtigt. Der Unterschied fällt damit deutlich geringer als in Happing aus.  
Der schalltechnische Effekt dieser geringeren Verkehrsmenge beträgt rund 1,5 dB.

- **Umrüstgrad der Güterzüge auf Verbundstoffbremsen**  
In der schalltechnischen Untersuchung nach Schall 03 1990 konnte aufgrund der alten Rechenmethode keine Umrüstung von Güterwagen auf leisere Bremssohlen berücksichtigt werden. Hier wurde bei Güterzügen von einem Scheibenbremsanteil von 10 % ausgegangen. Die Messungen fanden im November 2020 kurz vor dem Stichtag zum Verbot lauter Güterwagen entsprechend SchlärmschG am 13. Dezember 2020 statt. Entsprechend dem nationalen Fahrzeugregister [43] waren im Oktober 2020 71,7 % der aktiven Güterwagen auf leise Bremsbauarten umgerüstet. Unterstellt man bei der Messung einen Umrüstgrad auf Verbundstoffklotzbremsen von gerundet 72 %, ergibt sich rechnerisch nach alter Schall 03 (wobei Verbundstoffklotzbremsen rechnerisch den Scheibenbremsen gleichgestellt werden müssen) eine Pegelminderung von 3,4 dB für Güterzüge. Da in Westendorf sowohl Fernverkehrszüge als auch Güterzüge den Gesamtpegel dominieren ergibt sich ein Einfluss auf den Gesamtpegel von 3 dB tags und nachts.
- **Zuggeschwindigkeiten**  
Die real gemessenen Zuggeschwindigkeiten unterschreiten die für die jeweiligen Zugarten anzusetzenden Regelgeschwindigkeiten im Mittelwert deutlich. Während bei der schalltechnischen Prognose für Güterzüge eine Geschwindigkeit von 100 km/h bzw. 120 km/h angesetzt wird, betrug die mittlere Vorbeifahrtgeschwindigkeit der Güterzüge etwa 90 km/h. Bei den Fernverkehrszügen wurde die Regelgeschwindigkeit von 200 km/h mit einer im Mittel gemessenen Geschwindigkeit von etwa 160 km/h ebenfalls deutlich unterschritten. Der schalltechnische Effekt einer Geschwindigkeitsreduzierung von 100 km/h auf 80 km/h bzw. von 200 km/h auf 160 km/h beträgt nach Schall 03 1990 rund 1 dB bei Güterzügen bzw. 2 dB bei Fernverkehrszügen.
- **Zuglängen**  
Bei den Zuglängen ergeben sich ebenfalls Differenzen zwischen Prognose und gemessenen Zuglängen. In der Prognose werden Güterzüge mit 700 m Länge berechnet. Die bei den Messungen gezählten Güterwagen betragen im Mittel 25 Wagen je Güterzug. Bei einer mittleren Länge von 15 m ergibt sich somit eine Zuglänge von etwa 400 m. Der schalltechnische Effekt der reduzierten mittleren Zuglänge beträgt rund 2,5 dB.

Somit lassen sich allein durch die Zugparameter 9 dB Differenz zwischen Messung und Berechnung erklären. Die (je nach betrachtetem Messpunkt) verbleibenden ca. 2 dB bis 3 dB Pegelunterschied zwischen Messung und Berechnung können durch den glatten Schienenzustand (vgl. Abbildung 89) erklärt werden.

Die gemessenen Einzelereignispegel  $L_{T0}$  lassen sich jedoch auch mit den Zugzahlen aus der Prognose 2015 gewichten. Hierbei wird jedoch lediglich die Zahl der Züge in der Prognose berücksichtigt. Berücksichtigt man die höheren Werte, ergeben sich die Immissionspegel entsprechend der Tabelle 22.

Durch den Ansatz der Zugzahlen aus der Prognose 2015 reduziert sich der Unterschied zwischen Messung und Berechnung erwartungsgemäß auf 7 dB bis 9 dB. Hier trägt die Verkehrsmenge im Gegensatz zu Happing nicht so sehr zur Differenz zwischen Messung und Berechnung bei. Vielmehr ergibt sich hier der Unterschied aus der zwischenzeitlichen Umrüstung der Güterzüge auf Verbundstoffklotzbremsen, den geringeren Zuglängen und den Zuggeschwindigkeiten.

TABELLE 22: MESSTECHNISCH ERMITTELTE IMMISSIONSPEGEL IN WESTENDORF AUF GRUNDLAGE DER PROGNOTIZIERTEN VERKEHRSTÄRKE IM VERGLEICH ZU BERECHNETEN BEURTEILUNGSPEGELN AUS SCHALLTECHNISCHER UNTERSUCHUNG ZUR LÄRMSANIERUNG

Messwerte in dB(A)	Beurteilungszeitraum Tag			Beurteilungszeitraum Nacht		
	Höhe			Höhe		
	6,3 m	3,5 m	1,2 m	6,3 m	3,5 m	1,2 m
<b>Messquerschnitt 1 mit Wand</b>	59,2	55,3	52,4	57,9	53,8	50,9
<b>Messquerschnitt 2 ohne Wand</b>	68,4	68,0	63,5	67,2	66,7	62,2
<b>Pegelminderung</b>	-9,2	-12,7	-11,1	-9,3	-12,9	-11,3
<b>Beurteilungspegel aus schalltechnischer Untersuchung</b>						
<b>Rosenweg 10, West mit SSW</b>	67	64	-	65	62	-
<b>Rosenweg 10, West ohne SSW</b>	76	75	-	74	74	-
<b>Pegelminderung</b>	-9	-11		-9	-12	

## 5.6 Zusammenfassende Bewertung der Messungen

In beiden Untersuchungsgebieten wurden Messungen der Schallimmissionen an Berechnungspunkten der Lärmsanierung durchgeführt und die Messwerte den Rechenwerten gegenübergestellt. Während im Untersuchungsgebiet Happing die Berechnung nach Schall 03 2015 erfolgte, basiert die Berechnung in Westendorf auf der Schall 03 1990. Der Vergleich zwischen Mess- und Rechenwert ergibt folgende Ergebnisse:

### Differenz zwischen Rechen- und Messwert

Sowohl nach alter als auch nach neuer Schall 03 liegen die Messwerte tags und nachts ca. 10 dB unterhalb der in den schalltechnischen Untersuchungen prognostizierten Rechenwerte. Der Unterschied zwischen Berechnung und Messung ist durch die in der Prognose gegenüber den tatsächlichen Gegebenheiten erhöhten Eingangsparameter verursacht. Dies sind insbesondere die Zahl der Züge, der Umrüstgrad der Güterzüge, die Zuggeschwindigkeiten und Zuglängen, die in der Prognose z. T. deutlich höher sind als tatsächlich vor Ort gemessen. Den größten Beitrag zum Unterschied zwischen Messung und Berechnung leisten in Happing die Zugzahlen der in der Prognose zugrunde gelegten NBS München-Kieffersfelden und in Westendorf die zwischenzeitlich fortgeschrittene Umrüstung der Güterzüge auf lärmarme Verbundstoffbremsen, die nach alter Schall 03 noch nicht berücksichtigt wurde.

Korrigiert man die Rechenwerte hinsichtlich der Eingangsparameter verbleiben noch ca. 3 dB geringere Messwerte als Rechenwerte, die jedoch auch auf den guten Schienenzustand in beiden Messquerschnitten zurückgeführt werden können.

### **Wirksamkeit der Schallschutzwand**

In beiden Untersuchungsgebieten wurde in Querschnitten sowohl ohne als auch mit Wand gemessen und diese Differenz mit der berechneten Pegelminderung durch die Wand verglichen. Die Messpunkte lagen dabei jeweils in der ersten und damit am stärksten betroffenen Häuserreihe. Die je nach Mikrofonhöhe gemessene Pegelminderung durch die Wand von 9 dB bis 13 dB stimmt in beiden Untersuchungsgebieten mit Abweichungen von 0 dB bis maximal 2 dB mit den prognostizierten Rechenwerten überein.

### **Bewertung im Hinblick auf die Ermittlung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses (NKV)**

Bei der Ermittlung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses geht die Höhe des berechneten Beurteilungspegels indirekt über die Zahl der von Auslösewertüberschreitungen betroffenen Anwohnenden ein. Je höher der berechnete Beurteilungspegel desto höher die Zahl der betroffenen Anwohnenden und desto höher auch das NKV. In gleichem Maß geht die errechnete Pegelminderung in das NKV ein. Eine höhere Pegelminderung erhöht das NKV.

Aus dem Vergleich mit den Messungen geht hervor, dass die gemessenen Beurteilungspegel deutlich niedriger liegen, die Pegelminderung aus Messung und Berechnung jedoch sehr genau übereinstimmen. Aufgrund der Überschätzung durch die Berechnung wird das NKV somit ebenfalls überschätzt. Dabei ist jedoch maßgeblich zu beachten, dass das Rechenverfahren nach Korrektur der Eingangsparameter sehr gut mit den Messungen übereinstimmt und die Abweichungen aus den gewählten Eingangsparametern des Zugkollektivs resultieren. Die Wahl der Eingangsparameter gibt hier also die planerisch beabsichtigte Auslastung der Strecke wieder, die in der Realität jedoch meist unterschritten wird. Die NKV-Bewertung liegt somit zugunsten der Betroffenen höher. Andererseits muss auch beachtet werden, dass Messungen selbst bei erhöhtem Aufwand grundsätzlich nur eine Stichprobe der realen Situation wiedergeben können. Die vorgestellten Messergebnisse geben trotz des Aufwands nur eine örtliche und zeitliche Stichprobe wieder. Zur Berücksichtigung der planerisch beabsichtigten Auslastung der Strecke ist daher die Verwendung der Zugzahlenprognosen Voraussetzung. Dies ist in dieser Form auch nur bei Berechnungen möglich.

Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, dass die Messungen die vorgenommenen Prognoseberechnungen bestätigen, diese jedoch die geplante Auslastung der Strecke berücksichtigen können und zudem für den beabsichtigten Umfang der zu berücksichtigenden Gebäude mit potentiellen Betroffenen die einzige Erhebungsmethode mit vertretbarem Aufwand und reproduzierbarem Ergebnis darstellen.



## 6 Empfehlungen für die zukünftige Fortführung der Lärmsanierung

Durch das seit 20 Jahren bestehende freiwillige Lärmsanierungsprogramm des Bundes konnte wie in Kapitel 2 beschrieben die Lärmbelastung durch Schienenverkehr in Deutschland erfolgreich reduziert werden. Neben den gesetzlich verankerten Lärmbekämpfungs-Instrumenten wie Lärmvorsorge nach 16. BImSchV sowie Lärmkartierung bzw. Lärmaktionsplanung nach 34. BImSchV spielt das Lärmsanierungsprogramm eine Hauptrolle bei der Minimierung des bahnbedingten Lärms entlang des Schienennetzes Deutschlands. Im Zeitraum zwischen 1999 bis Ende 2018 wurden insgesamt für rund 626.000 Anwohnenden aktive und/oder passive Schallschutzmaßnahmen geplant, für weitere Betroffene sind weitere Planungen oder auch schon Arbeiten zur Entlastung im Gange. Fast 600 km Schallschutzwände sind baulich umgesetzt, die gleiche Länge Schallschutzwände befindet sich in der weiteren Planungsphase. Insgesamt 1,33 Milliarden € wurde im Zeitraum bis Ende 2018 vom Bund für das Lärmsanierungsprogramm ausgegeben, ca. 140 Millionen € hat die DB Netz AG aus eigenen Mitteln darüber hinaus aufgebracht.

Um die energie- und klimapolitischen Ziele der Bundesregierung, u. a. den Ausstoß von Treibhausgasen zu verringern, erreichen zu können, ist eine Verkehrsverlagerung von der Straße auf den klimafreundlicheren Verkehrsträger Schiene notwendig. Der damit verbundene Anstieg des Personenfernverkehrs und Güterverkehrs kann nur gelingen, wenn die Akzeptanz für den Schienenverkehr in Deutschland sichergestellt wird. Für diese Akzeptanz spielt Lärm eine wesentliche Rolle.

Die Bundesregierung hat mit der Festsetzung des neuen Lärmschutzziels 2030 diese Lärmproblematik der Verkehrsverlagerung erneut aufgegriffen [44]. Dabei soll die Zahl der vom Lärm Betroffenen halbiert werden. Dies ist mit der Fortführung des Lärmsanierungsprogramms zu realisieren. Das Erreichen dieser Ziele erfordert eine hohe Geschwindigkeit der Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms.

Seit Beginn ist das Programm mehrmals optimiert worden, die Förderrichtlinie sowie das Gesamtkonzept sind mehrfach im Laufe des Programms überarbeitet sowie Auslösewerte mehrmals verringert worden. Damit werden immer mehr Anwohnenden vom Programm entlastet und profitieren von aktiven und/oder passiven Lärmschutzmaßnahmen. Die Überarbeitung der Förderrichtlinie geht jedoch stets auch mit einer Verzögerung einher, da bereits in der Planung befindliche Abschnitte wiederum untersucht werden müssen, was oft mit einer Planungszeitenverlängerung einhergeht. Diese Verlängerung kann sich in Einzelfällen auf mehrere Jahre erstrecken.

Um die Akzeptanz für das Lärmsanierungsprogramm sicherzustellen, ist eine transparente, für Anwohnenden verständliche und im Sinne des Minderungsziels effektive Umsetzung des Programms notwendig. Die letzten Überarbeitungen des Programms seit 31.12.2018 bis heute werden im Folgenden dargestellt. Zudem werden weitere Vorschläge, das Programm zu beschleunigen und die Akzeptanz des Programms zu erhöhen, unterbreitet.

### 6.1 Bereits implementierte Verbesserungen

Seit dem Stichtag des Untersuchungszeitraums zum 31.12.2018 sind bereits Änderungen des Gesamtkonzepts und der Förderrichtlinie umgesetzt worden. Die Auswirkungen dieser Änderungen können erst im Laufe der Umsetzungen im Rahmen des Lärmsanierungsprogramms in naher Zukunft untersucht

werden. Weiterhin werden derzeit auch die Möglichkeiten zur Harmonisierung des Lärmsanierungsprogramms mit der Lärmkartierung/Lärmaktionsplanung in einem eigenen Forschungsvorhaben untersucht.

### 6.1.1 Überarbeitung des Gesamtkonzepts und der Förderrichtlinie

Zum 01.01.2015 wurde der „Schienenbonus“ abgeschafft und zum 01.01.2016 wurden die Auslösewerte der Lärmsanierung abgesenkt. Diese Veränderungen führten dazu, dass eine komplette Überarbeitung des Gesamtkonzepts erforderlich war. Die Überarbeitungen umfassten eine Berechnung der Priorisierungskennziffern für bereits sanierte Abschnitte sowie neu hinzugefügte Abschnitte. Das Ergebnis ist eine transparentere Reihung der Sanierungsabschnitte in der Priorisierungsliste, die auf einer Berechnung auf Basis fachlich gesicherter Grundlage beruhen.

Seit dem 01.01.2019 ist die neue Förderrichtlinie zur Lärmsanierung in Kraft. In der neuen Richtlinie sind die Auslösewerte von 2016 um 3 dB verringert worden. Der Stichtag für förderfähige bauliche Anlagen ist vom 01.04.1974 auf 01.01.2015 geändert worden und der im Nutzen-Kosten-Verhältnis maßgebliche Wert des Nutzens in € je Einwohner/Einwohnerin und Jahr ist auf 66 € angehoben worden. Zudem wird zum ersten Mal mehr Rücksicht auf die Interessen der Tourismus- und Gesundheitswirtschaft genommen, indem auch aufwändiger konzipierte und gestaltete Lärmschutzwände gefördert werden können. Mit den Änderungen der neuen Richtlinie werden deutlich mehr Anwohnende über das Programm entlastet und aktive Schallschutzmaßnahmen können mit erhöhter Wahrscheinlichkeit und Qualität umgesetzt werden.

### 6.1.2 Harmonisierung Lärmsanierung - Lärmaktionsplanung

Die beiden in Deutschland bestehenden Instrumente zur Lärmbekämpfung an bestehenden Schienenwegen, das Lärmsanierungsprogramm an Schienenwegen des Bundes sowie die Lärmaktionsplanung gemäß EU-Umgebungslärmrichtlinie, verfolgen im Grunde das gleiche Ziel: die Bekämpfung des Schienenverkehrslärms, jedoch mit unterschiedlichen Vorgehensweisen wie z. B. unterschiedlichen Berechnungsmethoden oder unterschiedlichem Umfang des zu betrachtenden Streckennetzes. Das BMDV hat hierzu das EBA beauftragt ein Forschungsvorhaben auszuschreiben und ausführen zu lassen. Hierin soll geprüft werden, inwieweit das Lärmsanierungsprogramm stärker mit der Lärmaktionsplanung nach EU-Richtlinie verknüpft werden kann und ob das Ergebnis der Lärmkartierung des EBA in Zukunft als Grundlage für die Priorisierung der Lärmsanierungsbereiche verwendet werden kann. Mit einer erfolgreichen Harmonisierung der beiden Instrumente verringert sich nicht nur der bürokratische Aufwand für die Lärmbekämpfung an den Schienenwegen Deutschlands, sondern es wird auch die Nachvollziehbarkeit und damit die Akzeptanz der Lärmbekämpfung bei den Anwohnenden erhöht.

## 6.2 Vorschläge zur Verbesserung zur Fortführung des Programms

Die Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms ist ein komplexer Vorgang mit Koordination bzw. Kommunikation zwischen Anwohnenden, der DB Netz AG, dem Eisenbahn-Bundesamt sowie den beteiligten Kommunen. Außer den akustischen Themen, die überwiegend in der schalltechnischen Untersuchung behandelt werden, müssen auch nicht-akustische Themen wie die technische Planung, die Sperrpausenplanung oder weitere Umweltthemen beachtet werden.

Die zu erwartenden Umweltbeeinträchtigungen bei der Umsetzung der Maßnahmen in einem Lärmsanierungsabschnitt erfordern die Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens. Der Beschluss wird dabei vom Eisenbahn-Bundesamt getroffen. Die Dauer der Sanierung von Abschnitten hängt damit in hohem Maß von der Dauer des Planfeststellungsverfahrens ab. Die bauliche Umsetzung der Lärmschutzmaßnahmen (Lärmschutzwände) ist in den meisten Lärmsanierungsabschnitten zeitlich durch die Abhängigkeit von der Erteilung von Sperrpausen limitiert, da die Aufstellung der Wände überwiegend vom Gleis aus realisiert werden muss.

Einer Beschleunigung des Lärmsanierungsprogramms stehen somit die zeitaufwändigen Planfeststellungsverfahren und die Abhängigkeit von Sperrpausen entgegen. Durch innovative IT-Technologien sowie eine enge Einbindung von Anwohnenden im Planungsprozess kann der Ablauf zeitlich optimiert werden.

### 6.2.1 Einführung von Building-Information-Modeling (BIM) in den Planungsprozess

Die Methode Building-Information-Modeling (BIM) wird im Bauwesen, etwa bei der Planung und dem Bauen von Hochbauten, seit Jahren von Architekten und Planern verwendet. Durch die Entwicklung des Stufenplans Digitales Planen und Bauen des BMDV im Jahr 2015 wird die Einführung von BIM für Infrastrukturprojekte vorangetrieben. Seitdem werden häufiger Bahn-Infrastrukturprojekte mit der Methode BIM geplant. Die Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms mittels der BIM-Methode ist noch nicht eingeführt. In den kommenden Jahren ist ein BIM-Pilotprojekt für einen Abschnitt vorgesehen. Die Beschleunigung der Einführung von BIM wird aufgrund der vielen Vorteile des BIM als wirkungsvolles Mittel zur Beschleunigung des gesamten Programms gesehen.

BIM kann in sämtlichen Planungsphasen sowie bei der baulichen Umsetzung eingesetzt werden. Durch den digitalen Wandel bieten heutige Software-Lösungen die Möglichkeit an, Infrastrukturprojekte mit dreidimensionalen Bauwerksmodellen zu planen, zu bauen und zu betreiben. Die Modelle können dabei neben den geometrischen Informationen weitere relevante Informationen, wie Materialeigenschaften, Herstellungszeiten und -kosten oder akustische Eigenschaften enthalten. Dabei ist anzustreben, dass alle Planungsbeteiligte eine gemeinsame Datenplattform nutzen und die Beiträge unterschiedlicher Gewerke in ein Modell integrieren. Dadurch können frühzeitig Konflikte zwischen unterschiedlichen Planungsthemen, z. B. die aus akustischer Sicht vorgeschlagene Lage einer Lärmschutzwand mit bautechnischen Zwängen oder Hindernissen, erkannt werden. Reibungsverluste und Informationsverluste zwischen unterschiedlichen Fachplanungen können reduziert bzw. ganz vermieden werden. Die Planungsgenauigkeit und die Kostensicherheit bei der Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms werden erhöht sowie Projektrisiken minimiert.

Auch die Beteiligung der Öffentlichkeit kann mit BIM-Modellen verbessert werden. Mit BIM können z. B. 3D-Zugvorbeifahrtssimulationen mit der zusätzlichen Darstellung der Schallausbreitung oder der Verschattung durch Schallschutzwände den betroffenen Anwohnenden oder kommunalen Gremien präsentiert werden. Mit der Anbindung von Auralisation- und Visualisierungstechniken kann die komplexe Umsetzung von Lärmsanierungsprojekten transparent und qualitativ hochwertig veranschaulicht werden. Dies bietet somit einen verbesserten Informationsfluss an die Anwohnenden, sodass Vorbehalte und mögliche Einwendungen reduziert werden können.

Die Umsetzung passiver Schallschutzmaßnahmen kann mit BIM-Methoden ebenfalls beschleunigt und verbessert werden. BIM bietet weitere umfangreiche Möglichkeiten der Koordination, Überwachung und Dokumentation der Umsetzung von passiven Schallschutzmaßnahmen an. In den Modellen können die Gebäude problemlos mit der Art und dem Umfang des Anspruchs auf Förderung, den bautechni-

schen Eigenschaften und Geometrien sowie dem Stand der Umsetzung im Datenmodell verknüpft werden. Damit kann derselbe Datensatz des schalltechnischen Modells für den weiteren Planungsschritt der Umsetzung passiver Maßnahmen weiterverarbeitet werden. Vorhandene Daten (z. B. die Beurteilungspegel an den verschiedenen Fassaden) können ohne Verlust weiterverwertet werden und müssen in einer späteren Planungsstufe nicht erneut in ein weiteres Modell (z. B. ein Modell des Planers für passive Schallschutzmaßnahmen) erneut eingegeben werden. Außerdem kann damit jederzeit der aktuelle Stand der Umsetzung der passiven Schallschutzmaßnahmen dokumentiert und abgerufen werden. Eine aus dem Lärmsanierungsprogramm erarbeitete Datengrundlage zur Umsetzung der passiven Schallschutzmaßnahmen kann mit einfachen Mitteln für andere Lärmbekämpfungsinstrumente, wie z. B. die Lärmkartierung nach EU-Umgebungslärmrichtlinie, ausgetauscht werden. Damit kann die Genauigkeit zwischen den Instrumenten erhöht werden.

BIM kann sowohl auf tieferen als auch auf höheren Projektebenen eingesetzt werden. Damit wird eine Struktur der statistischen Verfolgung des Lärmsanierungsprogramms angeboten. Projektbezogene Änderungen eines Abschnitts können sofort auf der höheren Projektebene erkannt werden und ohne Verzögerung in statistische Auswertungen auf regionaler oder nationaler Ebene einfließen. Somit können Fragestellungen wie die in AP 1 und AP 2 fast in Echtzeit beantwortet werden, so dass Maßnahmen zur Optimierung des Lärmsanierungsprogramms laufend überwacht und Maßnahmen ergriffen werden können.

Die Einführung von BIM kann jedoch nur dann alle Vorteile der Technologie ausnutzen, wenn die verschiedenen Fachplaner und Planungsebenen koordiniert und deren Daten zusammengeführt werden. Das BIM-Vorgehen fordert eine enge Zusammenarbeit und teamorientierte Planung bzw. Koordination aller Beteiligten. Die Rollen, Funktionen und Verantwortlichkeiten im Rahmen der Lärmsanierungsprojekte müssen ausgearbeitet und erprobt werden.

## 6.2.2 Einbindung von Anwohnenden

Die Ergebnisse aus der Befragungsstudie zeigen, dass eine Einbindung der Anwohnenden erwünscht ist und bezüglich der Kommunikation von Informationen Verbesserungsbedarf besteht. Aus den Ergebnissen der Befragungsstudie lässt sich weiterhin ableiten, dass nicht-akustische Faktoren wie eben diese Einbindung von Anwohnenden eine entscheidende Rolle für die Wahrnehmung und Akzeptanz von Schallschutzmaßnahmen sowie für das Lärmbelastungserleben spielen können. Dies kann soweit führen, dass Lärmsanierungsmaßnahmen durch Einsprüche von Anwohnenden verzögert werden oder letztendlich sogar vor Gericht beklagt werden. Die zugehörigen Verfahren werden dadurch natürlich deutlich verzögert. Daher wird empfohlen, sowohl eine Evaluation der Maßnahmenakzeptanz und Lärmwirkungen als auch die Einbindung von Anwohnenden bereits von Beginn an bei der Konzeption der Implementierung von Schallschutzmaßnahmen einzuplanen.

Für die zukünftige Gestaltung des Lärmsanierungsprogramms wären diesbezüglich verschiedene Vorgehensweisen denkbar.

Nach einem Leiter-Modell zur Bürgerbeteiligung von Arnstein („A ladder of citizen participation“, [34]) gibt es acht verschiedene Leiter-Stufen von Bürgerbeteiligung, die sich vor allem bezüglich des Ausmaßes der Einbindung von Personen bei Entscheidungsfindungen unterscheiden. Je höher die Leiter-Stufe ist, desto größer ist der Einfluss der Beteiligten auf das Endprodukt. Stufen, die daraus für die zukünftige Gestaltung der Lärmsanierung in Bezug auf die Beteiligung in Betracht kommen, sind Information (*information*), Konsultation (*consultation*) und partnerschaftliche Beteiligung (*partnership*). Bei den Stufen Information und Konsultation geht es vorrangig um Informationsgabe an Betroffene und Informationsnahme von Betroffenen (Konsultation) mit dem Ziel, Einblick in deren Bedenken und Ideen zu erhalten.

Dies erfolgt allerdings ohne die Verbindlichkeit, dass die Meinungen beachtet werden. Die partnerschaftliche Beteiligung hingegen beinhaltet weiterhin, dass außer den Verantwortlichen auch Anwohnende in den Prozess der Entscheidungsfindung eingebunden werden. Das Ausmaß der Mitsprachemöglichkeiten wird in einem Aushandlungsprozess festgelegt.

Angelehnt an das Modell wäre denkbar, die Einbindung auf mehreren Ebenen zu realisieren und Anwohnende wo möglich in unterschiedlichen Stufen zu involvieren. Grundsätzlich ist eine begleitende Information bei der Umsetzung des Planungs- und Bauprozesses wünschenswert, um Transparenz für die anwohnende Bevölkerung zu schaffen. Information sollte zudem so früh wie möglich bereitgestellt werden. In einem Konsultationsverfahren werden die Maßnahmen vorgestellt und über ihre möglichen Implikationen informiert und um Feedback durch Anwohnende gebeten. Grundsätzlich ist es für die Akzeptanz von Maßnahmen förderlich, wo möglich Anwohnende in die Entscheidungsfindung einzubinden. Ist dies nicht möglich, dann sollte dies transparent gemacht werden und dabei auch der Wert der in einer Konsultation von den Anwohnenden erhaltenen Informationen herausgestellt werden. Formen der weiteren Beteiligungsmöglichkeiten wäre die Einbindung von Anwohnenden in den Auswahlprozess von Alternativen bzw. die Gestaltung der Maßnahmen (z. B. verschiedene Arten von Schallschutzwänden). Weiterhin wäre es möglich, Anwohnende in den Prozess der Erarbeitung und Auswahl von Kriterien einzubinden, mit denen Maßnahmen ausgewählt werden. Eine derartige Vorgehensweise ist u. a. in der Lärmaktionsplanung (LAP) nach EU-Umgebungslärmrichtlinie vorgesehen. Im Rahmen der Harmonisierung der Lärmsanierung und der Lärmaktionsplanung wäre es also nur folgerichtig, diese Öffentlichkeitsbeteiligung auch in der Lärmsanierung durchzuführen. Konkret könnten dabei auch bereits von der Deutschen Bahn entwickelte Tools zur Auralisierung und Visualisierung von unterschiedlichen Schallschutzmaßnahmen eingesetzt werden. Damit können Anwohnende auf Basis einer realistischen Darstellung eine Vorstellung der Situation nach Implementierung eine Präferenz für Maßnahmen in den Auswahlprozess einbringen.

Insgesamt ist es für den Prozess der Bürgerbeteiligung wichtig größtmögliche Transparenz zu ermöglichen und - sofern es die Möglichkeit gibt - Anwohnende bei der Entscheidungsfindung aktiv einzubinden.

### 6.2.3 Überarbeitung der Formel für das Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) und Einführung eines Maximalkriteriums

Seit der Einführung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses (NKV) in der Förderrichtlinie zur Lärmsanierung ist die Formel zur Ermittlung des NKV mehrfach geändert worden. Die derzeitige Fassung der Formel ist aus Abbildung 91 ersichtlich.

$$NKV = \frac{NU \times dL \times E \times t}{K}$$

*Dabei ist:*

*NU = 66,00 Euro, der Nutzen je dB(A) Pegelminderung, Einwohner und Jahr,*

*dL = die mittlere Pegelminderung in dB(A) aus dem schalltechnischen Gutachten,*

*E = die Anzahl der von der Auslösewertüberschreitung betroffenen Einwohner (=WE x 2,1),*

*t = 25 Jahre, die anzusetzende Nutzungsdauer,*

*K = die Höhe der für die Maßnahmen erforderlichen Zuwendungen in Euro bei einer angenommenen Nutzungsdauer von 25 Jahren.*

Abbildung 91: Auszug aus der Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes [5], Formel zur Berechnung des Nutzen-Kosten-Verhältnis

Mit der Absenkung der Auslösewerte der Lärmsanierung und dem Wegfall des Schienenbonus sind für viele Lärmsanierungsabschnitte deutlich mehr förderfähige Einwohner/Einwohnerinnen zu erwarten. Diese Veränderungen werden erwartungsgemäß eine positive Auswirkung auf den NKV-Wert haben. Demgegenüber wird die mittlere Pegelminderung in dB gleichbleiben bzw. könnte sich sogar verringern, da die zusätzlich förderfähigen Einwohner/Einwohnerinnen aufgrund des größeren Abstands einen geringeren Schutzeffekt der Lärmschutzwand haben. Die Nutzungsdauer von 25 Jahren ist eine unveränderte feste Größe.

Die wesentlichen Eingangsgrößen, die nicht von der schalltechnischen Situation vor Ort abhängen, sind der Faktor NU (Nutzen je Pegelminderung, Einwohner/Einwohnerin und Jahr) und die Kosten K für die Schallschutzmaßnahmen. Der Nutzen in € je Einwohner/Einwohnerin und Jahr ist eine gesetzte Größe, die zu Anfang des Lärmsanierungsprogramms [8] mit 50 € je Pegelminderung, Einwohner/Einwohnerin und Jahr angesetzt wurde. Sie wurde zwischenzeitlich zweimal erhöht und beträgt derzeit 66 € je Pegelminderung, Einwohner/Einwohnerin und Jahr.

Die Kosten für die Erstellung einer Lärmschutzwand haben sich den letzten Jahren jedoch mehr als verdoppelt. Die erhöhten Kosten für die Erstellung einer Lärmschutzwand überkompensieren daher die Erhöhung des Nutzens durch den erhöhten NU-Wert, der lediglich um den Faktor 1,3 erhöht wurde. In Einzelfällen kann dies dazu führen, dass der NKV-Wert einer Lärmschutzwand aufgrund der überproportional gestiegenen Kosten einen Wert von unterhalb von 1 annimmt und nicht mehr nach dem Lärmsanierungsprogramm förderfähig ist. Den Anwohnenden mit Überschreitungen der Auslösewerte werden in diesen Fällen passive Schallschutzmaßnahmen angeboten. Um diesen Effekten entgegen zu steuern, sollte die Formel zur Ermittlung des NKV durch Erhöhung des NU-Wertes angepasst werden.

Alternativ könnte die Förderrichtlinie auch mit zusätzlichen Bewertungskriterien zur Ermittlung der Förderfähigkeit einer aktiven Schallschutzmaßnahme erweitert werden. Eine Möglichkeit der Erweiterung wäre die Berücksichtigung eines Maximalpegelkriteriums. Dieses Kriterium würde nicht nur die Umsetzung und Qualität der aktiven Schallschutzmaßnahmen sicherstellen, sondern auch den Umfang passiven Schallschutzes erhöhen.

Grundlage für ein Maximalpegelkriterium sollten die durch Einzelereignisse hervorgerufenen zusätzlichen Aufwachreaktionen (AWR) der Anwohnenden sein. Die Vorgehensweise bei der Berücksichtigung eines Maximalpegelkriteriums ist in einer Untersuchung für das Hessische Umweltministerium [46] ausführlich beschrieben. Dabei wird auf Basis der Höhe und Anzahl der errechneten Maximalpegel bei der Vorbeifahrt von Zügen im Nachtzeitraum auf die Gesamtzahl zusätzlich zu erwartender Aufwachreaktionen geschlossen. In dieser Untersuchung wird vorgeschlagen, als Akzeptanzschwelle von drei zusätzlichen geräuschinduzierten Aufwachreaktionen auszugehen. Diese Schwelle würde dann neben den Auslösewerten für die Lärmsanierung ein weiteres Kriterium für die Förderfähigkeit von Schallschutzmaßnahmen liefern. Besonders bei Strecken mit hoher nächtlicher Belastung werden damit aktive und umfangreichere passive Schallschutzmaßnahmen förderfähig.

## 6.2.4 Erhöhung der bereit gestellten Mittel

Wenn die technischen, gesellschaftlichen und formalen Rahmenbedingungen für eine Beschleunigung des Fortschritts der Lärmsanierung optimiert werden, kann als logische Folge die Erhöhung der jährlich bereits gestellten Haushaltsmittel erforderlich werden, um die dann mögliche Beschleunigung des Programms auch durch finanzielle Mittel zu ermöglichen. Dabei sollte die Erhöhung der Mittel sukzessive an den jeweils aktuell möglichen Lärmsanierungsfortschritt (derzeit etwa 80 km/Jahr) und die dafür notwendigen Mittel angepasst werden.

# Formelzeichen- und Abkürzungsverzeichnis

A	dB	Frequenzbewertung mit A-Bewertungsfilter
ASS		Aktiver Schallschutz
BMDV		Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BUZ		Bahnumweltzentrum Berlin
DB		Deutsche Bahn AG
DoSto		Doppelstockzug
EBA		Eisenbahn-Bundesamt
EG / EU		Europäische Gemeinschaft bzw. Europäische Union
Eq		Angabe der Energieäquivalenz (energetische Mittelung)
FluLärmG		Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm
F bzw. S	s	Zeitbewertungsfilter (F = Fast = 0,125 s; S = Slow = 1 s)
GZ		Güterzug
HGV		Hochgeschwindigkeitsverkehr
ISO		International Organisation for Standardization
IO		Immissionsort
L	m	Länge der Schallquelle
$l_{\text{Zug}}$	m	Zuglänge
$\Delta L$	dB	Pegeldifferenz
$\Delta L_{(25)}$	dB	Pegeldifferenz zwischen Emissionspegel und Maximalpegel in 25 m Entfernung zum Gleis
$\Delta L_{pA,eq,Tag}$	dB	Intervall der maximalen Differenzen zwischen Messung und Berechnung am Tag (06:00 Uhr – 22:00 Uhr)
$\Delta L_{pA,eq,Nacht}$	dB	Intervall der maximalen Differenzen zwischen Messung und Berechnung in der Nacht (22:00 Uhr – 06:00 Uhr)
$L_a$	dB	maßgeblicher A-bewerteter Außenschallpegel
LAP		Lärmaktionsplanung
$L_{Amax}$	dB	A-bewerteter Maximalpegel
$L_{den} / L_{DEN}$	dB	Beurteilungspegel über Tag-Abend-Nacht (06:00 Uhr – 18:00 Uhr / 18:00 Uhr – 22:00 Uhr / 22:00 Uhr – 06:00 Uhr)
$L_{eq}$	dB	äquivalenter Dauerschallpegel

$L_i$	dB	A-bewerteter Innenschallpegel
$L_{m,E}$	dB	Emissionspegel
$L_p$	dB	Schalldruckpegel
$L_{pAF,eq,T}$	dB	Mittelungsschalldruckpegel / äquivalenter Dauerschallpegel
$L_{pAF,max}$	dB	A(F)-bewerteter mittlerer Maximalschallpegel
$L_{pAF,max,A}$	dB	A(F)-bewerteter mittlerer Maximalschallpegel Außenpegel
$L_{pAF,max,I}$	dB	A(F)-bewerteter mittlerer Maximalschallpegel Innenpegel
$L_{pAF,max,Zug}$	dB	A(F)-bewerteter mittlerer Maximalschallpegel eines vorbeifahrenden Zuges
$L_{T0}$	dB	Einzelereignispegel
$L_{WA}$	dB	A-bewerteter Schallleistungspegel
$L_{WA}'$	dB	Pegel der längenbezogenen A-bewerteten Schallleistung
M		Mittelwert
Maximalpegel		mittlerer Maximalschalldruckpegel
Mittelungspegel		Langzeitmittelungsschalldruckpegel (Dauerschallpegel)
N	1/h	Anzahl an Zugfahrten pro Stunde
NE		Non-eligible, stichprobenneutraler Ausfall
$N_{max}$	sones	maximale Lautheit
PFU		Planfeststellungsuntersuchung
PSS		Passiver Schallschutz
R		Korrelationskoeffizient
$R_{w,i}$	dB	Schalldämm-Maße der Teilaußenflächen
$R'_{w,i}$	dB	vorhandenes Schalldämm-Maß der Teilaußenflächen
$R_{w,res}$	dB	resultierendes bewertetes Schalldämm-Maß der Gesamtaußenfläche
$R'_{w,res}$	dB	vorhandenes resultierendes bewertetes Schalldämm-Maß der Gesamtaußenfläche
SD		Standardabweichung (standard deviation)
$S_g$	m <sup>2</sup>	Gesamtaußenfläche, die sich aus allen Teilaußenflächen zusammensetzt
$S_i$	m <sup>2</sup>	Teilaußenflächen
$S_1 - S_n$	m <sup>2</sup>	Teilaußenflächen
SO		Schienenoberkannte



SSD		Schienenstegdämpfer
SSW		Schallschutzwand
TDR	dB/m	Gleisabklingrate (track decay rate)
v <sub>Zug</sub>	km/h	Geschwindigkeit eines vorbeifahrenden Zuges
V	m <sup>3</sup>	Raumvolumen
Zeus		Zeus GmbH, Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Jährlich fertiggestellte schalltechnische Untersuchungen.....	24
Abbildung 2: Länge und Höhe der geplanten Schallschutzwände aus den schalltechnischen Untersuchungen.....	25
Abbildung 3: Kumulierte Gesamtlängen der geplanten und baulich umgesetzten Schallschutzwände.....	26
Abbildung 4: Verhältnis von für passiven Schallschutz förderfähigen Wohneinheiten zu tatsächlich mit passivem Schallschutz ausgestatteten Wohneinheiten.....	27
Abbildung 5: Anzahl der Anwohnenden pro Jahr, bei denen eine Förderfähigkeit von Schallschutzmaßnahmen festgestellt wurde, auf Basis der schalltechnischen Untersuchungen .....	28
Abbildung 6: Anzahl der Anwohnenden, bei denen eine Förderfähigkeit von Schallschutzmaßnahmen festgestellt wurde, auf Basis der schalltechnischen Untersuchungen aufsummiert seit 1999 bis Ende 2018 .....	29
Abbildung 7: Exemplarische Darstellung der zusätzlich von Maßnahmen der Lärmsanierung profitierenden Gebäude.....	30
Abbildung 8: Auswahlbereiche für repräsentative Gebiete in Deutschland.....	31
Abbildung 9: Zusammenfassende Darstellung der profitierenden Anwohnenden.....	32
Abbildung 10: Mittlere Pegelminderung durch Schallschutzwände bei Anwohnenden, die von Überschreitungen der Auslösewerte betroffen waren, aus den schalltechnischen Untersuchungen.....	32
Abbildung 11: Aufbau des Bundeshaushaltsansatzes.....	33
Abbildung 12: Darstellung des jährlichen Bundeshaushaltsansatz und der abgerufenen Baukosten inkl. Planungskostenpauschale.....	34
Abbildung 13: Darstellung der in den Jahren 2016 bis 2019 abgeschlossenen Lärmsanierungsabschnitte nach Gesamtkonzept [2] .....	35
Abbildung 14: Darstellung der in den Jahren 2016 bis 2019 sanierten Netto-km.....	35
Abbildung 15: Darstellung der in den Jahren 2016 bis 2019 entlasteten Anwohnenden.....	36
Abbildung 16: Schematische Darstellung der Unterscheidung von Brutto-km und Netto-km.....	37
Abbildung 17: Schematische Darstellung der Einführung von Schallschutzmaßnahmen.....	38
Abbildung 18: Untersuchungsgebiet Friedberg (Hessen).....	49
Abbildung 19: Untersuchungsgebiet Besigheim.....	50
Abbildung 20: Untersuchungsgebiet Gröbenzell.....	51
Abbildung 21: Untersuchungsgebiet Koblenz-Lahnstein.....	52
Abbildung 22: Untersuchungsgebiet Fulda.....	53
Abbildung 23: Untersuchungsgebiet Sindelfingen.....	54
Abbildung 24: Untersuchungsgebiet Walheim .....	55
Abbildung 25: Wahrnehmung von Veränderungen bezüglich des Eisenbahnverkehrs in den letzten 3 bzw. 4 Monaten.....	63

Abbildung 26: Wahrnehmung der Veränderung in der Lautstärke der Eisenbahngeräusche seit Implementierung der Lärmschutzmaßnahme .....	65
Abbildung 27: Zustimmung bzw. Ablehnung zur Frage, ob sich am Vorbeifahrgeräusch der Eisenbahnen etwas verändert habe .....	65
Abbildung 28: Einschätzung der Veränderung der Wohnqualität.....	66
Abbildung 29: Häufigkeiten der Belästigungsangaben getrennt nach Art von Schallschutzmaßnahmen.....	68
Abbildung 30: Belästigung durch Schienenverkehr insgesamt im allgemeinen Vergleich: Aktiver Schallschutz Schienenstegdämpfer vs. Aktiver Schallschutz Schallschutzwand vs. Passive Schallschutzmaßnahmen.....	69
Abbildung 31: Belästigung durch Lärm von Güterzügen im allgemeinen Vergleich: Aktiver Schallschutz Schienenstegdämpfer vs. Aktiver Schallschutz Schallschutzwand vs. Passive Schallschutzmaßnahmen .....	69
Abbildung 32: Belästigung durch Lärm von Personenzügen im allgemeinen Vergleich: Aktiver Schallschutz Schienenstegdämpfer vs. Aktiver Schallschutz Schallschutzwand vs. Passive Schallschutzmaßnahmen.....	70
Abbildung 33: Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt im Vergleich über die unterschiedlichen Untersuchungsgebiete und Schallschutzmaßnahmen .....	71
Abbildung 34: Belästigung durch Lärm von Güterzügen im Vergleich über die unterschiedlichen Untersuchungsgebiete und Schallschutzmaßnahmen.....	72
Abbildung 35: Belästigung durch Lärm von Personenzügen im Vergleich über die unterschiedlichen Untersuchungsgebiete und Schallschutzmaßnahmen.....	73
Abbildung 36: Störung beim Einschlafen durch Lärm vom Schienenverkehr im Vergleich zwischen den Maßnahmen: Aktiver Schallschutz (ASS) Schienenstegdämpfer vs. Aktiver Schallschutz Schallschutzwand (ASS) vs. Passive Schallschutzmaßnahmen (PSS).....	74
Abbildung 37: Störung beim Nachtschlaf durch Lärm vom Schienenverkehr im Vergleich zwischen den Maßnahmen: Aktiver Schallschutz Schienenstegdämpfer vs. Aktiver Schallschutz Schallschutzwand vs. Passive Schallschutzmaßnahmen .....	74
Abbildung 38: Störung beim Ausschlafen durch Lärm vom Schienenverkehr im Vergleich zwischen den Maßnahmen: Aktiver Schallschutz Schienenstegdämpfer vs. Aktiver Schallschutz Schallschutzwand vs. Passive Schallschutzmaßnahmen .....	75
Abbildung 39: Zufriedenheit mit den Schallschutzmaßnahme, Häufigkeit der Antwortmöglichkeiten.....	76
Abbildung 40: Zufriedenheit mit den Schallschutzmaßnahmen im allgemeinen Vergleich Aktiver Schallschutz (ASS) Schienenstegdämpfer vs. Aktiver Schallschutz (ASS) Schallschutzwand vs. Passive Schallschutzmaßnahmen (PSS).....	77
Abbildung 41: Zufriedenheit mit den Schallschutzmaßnahmen im Vergleich Aktiver Schallschutz (ASS) Schienenstegdämpfer vs. Aktiver Schallschutz (ASS) Schallschutzwand vs. Passive Schallschutzmaßnahmen (PSS) mit Differenzierung zwischen den Schallschutzwandarten.....	77
Abbildung 42: Zufriedenheit mit den Schallschutzmaßnahmen getrennt nach Untersuchungsgebieten im Zeitverlauf.....	81
Abbildung 43: Bewertung der Schallschutzwand anhand von mehreren Aussagen für Friedberg (1. Befragung) kurz nach Implementierung der Schallschutzwand.....	83

Abbildung 44: Bewertung der Schallschutzwand anhand von mehreren Aussagen für Friedberg (2. Befragung) 4 Monate nach Implementierung der Schallschutzwand .....	84
Abbildung 45: Bewertung der Schallschutzwand anhand von mehreren Aussagen für Gröbenzell mehrere Jahre nach Implementierung der Schallschutzwand (Gabione).....	85
Abbildung 46: Zustimmung zu mehreren Aussagen zur Bedeutung der Schallschutzwand für die Befragten.....	86
Abbildung 47: Bewertung der Schallschutzmaßnahme Schienenstegdämpfer anhand von mehreren Aussagen für das Mittelrheintal (2. Befragung) kurz nach Implementierung der Schienenstegdämpfer.....	87
Abbildung 48: Bewertung der Schallschutzmaßnahme „Schienenstegdämpfer“ anhand von mehreren Aussagen für das Mittelrheintal (2. Befragung) 3 Monate nach Implementierung der Schienenstegdämpfer .....	87
Abbildung 49: Einschätzung der Veränderung der Geräuschbelastung durch passiven Schallschutz in Fulda .....	88
Abbildung 50: Einschätzung zu Aussagen zur Wirkung von Schallschutzfenstern in Fulda .....	89
Abbildung 51: Einstellung zum Schienenverkehr im Vergleich zwischen den Untersuchungsgebieten, Vergleich des Scorewerts .....	91
Abbildung 52: Einstellung zum Bahnverkehr getrennt nach Art der Schallschutzmaßnahme .....	92
Abbildung 53: Wahrgenommenes Lärmschutzengagement der Akteure nach Untersuchungsgebieten .....	93
Abbildung 54: Wahrgenommenes Lärmschutzengagement der Akteure für Schienenverkehr im Vergleich zwischen Art der Schallschutzmaßnahmen .....	94
Abbildung 55: Wahrgenommenes Lärmschutzengagement der Hersteller von Zügen getrennt nach Untersuchungsgebieten .....	95
Abbildung 56: Wahrgenommenes Lärmschutzengagement von der Deutsche Bahn AG nach Untersuchungsgebieten.....	95
Abbildung 57: Wahrgenommenes Lärmschutzengagement von regionalen Verkehrsunternehmen (ÖPNV) nach Untersuchungsgebieten .....	96
Abbildung 58: Wahrgenommenes Lärmschutzengagement der kommunalen Behörden nach Untersuchungsgebieten.....	96
Abbildung 59: Wahrgenommenes Lärmschutzengagement der Bundesregierung nach Untersuchungsgebieten .....	97
Abbildung 60: Bewertung des Ausmaßes der Informiertheit vor Implementierung der Maßnahme über die Planung der Maßnahme .....	100
Abbildung 61: Übersicht über Quellen, aus denen Teilnehmende von Schallschutzmaßnahme erfahren haben. Mehrfachnennung war möglich.....	101
Abbildung 62: Zufriedenheit mit der Art der Kommunikation über die Schallschutzmaßnahme getrennt nach Untersuchungsgebieten .....	102
Abbildung 63: Zufriedenheit mit den bereitgestellten Informationen zur Schallschutzmaßnahme getrennt nach Untersuchungsgebieten .....	102
Abbildung 64: Beurteilung der Teilnehmenden ob die Bevölkerung in die Planung der Maßnahme einbezogen wurde.....	104

Abbildung 65: Einschätzung der Wichtigkeit in die Planung der Maßnahmen eingebunden zu sein dargestellt nach Untersuchungsgebieten.....	104
Abbildung 66: Strecke für die Messungen der Lärmsanierungsmaßnahmen „Schallschutzwand“ ..	109
Abbildung 67: Strecke für die Messungen der Lärmsanierungsmaßnahmen „Schienenstegdämpfer“ .....	109
Abbildung 68: Messaufbau der Messung am 5.12.2019 zur Erfassung der Lärmsanierungsmaßnahme „Schallschutzwand“, links im Abstand 7,5 m, rechts im Abstand 18,5 m.....	110
Abbildung 69: Messaufbau der Messung am 18.12.2019 (links) zur Erfassung der Lärmsanierungsmaßnahme „Schienenstegdämpfer“ (rechts).....	110
Abbildung 70: A-bewerteter Pegel (links) und Lautheit (rechts) von beispielhaften Vorbeifahrten eines Doppelstockzugs (oben), eines Güterzugs (Mitte) und eines Hochgeschwindigkeitszugs (unten), gemessen in einem Abstand von 7,5 m mit (rot) und ohne (blau) Schallschutzwand.....	111
Abbildung 71: A-bewerteter Pegel (links) und Lautheit (rechts) von beispielhaften Vorbeifahrten eines ET425 (oben), eines Güterzugs (Mitte) und eines Hochgeschwindigkeitszugs (unten), mit (rot) und ohne (blau) Schienenstegdämpfer, gemessen im Abstand „nah“ (7,5 m). .....	114
Abbildung 72: Hörkabine der Firma Möhler + Partner.....	116
Abbildung 73: Ablauf einer Sequenz bei der Methode „Größenschätzung mit Ankerschall“ .....	116
Abbildung 74: Ergebnisse der Hörversuche für die Maßnahme Schallschutzwand; die relative Lästigkeit gibt die Lästigkeit der Vorbeifahrt mit Schallschutzwand im Verhältnis zu derselben Vorbeifahrt ohne Schallschutzwand wieder .....	117
Abbildung 75: Gemittelte Werte für die Abnahme der Lästigkeit bei dem Einsatz der Maßnahme Schallschutzwand.....	118
Abbildung 76: Ergebnisse der Hörversuche für die Maßnahme Schienenstegdämpfer; die relative Lästigkeit gibt die Lästigkeit der Vorbeifahrt mit Schienenstegdämpfer im Verhältnis zu derselben Vorbeifahrt ohne Schienenstegdämpfer wieder .....	119
Abbildung 77: Gemittelte Werte für die Abnahme der Lästigkeit bei dem Einsatz der Maßnahme Schienenstegdämpfer.....	119
Abbildung 78: Definition der Berechnung der Vorbeifahrtpegel für die Korrelation mit der subjektiv beurteilten Lästigkeit am Beispiel der Signale LSW_01 ohne Maßnahme (blau) und LSW_01 mit Maßnahme (rot). .....	120
Abbildung 79: Gegenüberstellung der Abnahme der Lästigkeit und dem Unterschied im gemittelten Vorbeifahrtpegel entsprechend der obigen Definition für alle beurteilten Signale	121
Abbildung 80: Gegenüberstellung der Abnahme der Lästigkeit und dem Unterschied im maximalen A-bewerteten Vorbeifahrtpegel für alle beurteilten Signale.....	121
Abbildung 81: Gegenüberstellung der Abnahme der Lästigkeit und dem Unterschied in der maximalen Lautheit für alle beurteilten Signale.....	122
Abbildung 82: Messgebiet Happing mit Schallschutzwand nach Schall 03 2015.....	126
Abbildung 83: Lageplan der beiden Messquerschnitte .....	127
Abbildung 84: Messgebiet mit Schallschutzwand nach Schall 03, Stand 1990.....	128
Abbildung 85: Lageplan der beiden Messquerschnitte .....	129
Abbildung 86: Messgerät zur Bestimmung der Schienenrauheit m   rail trolley.....	132

Abbildung 87: Ergebnisse der Rauheitsmessungen in Happing nach DIN 15610 für Messquerschnitt 1 mit Wand (links) und Messquerschnitt 2 ohne Wand (rechts).....	133
Abbildung 88: Ergebnisse der Messungen der Gleisabklingraten in Happing nach DIN 15461, vertikal (oben) und horizontal (unten) für Messquerschnitt 1 mit Wand und Messquerschnitt 2 ohne Wand .....	135
Abbildung 89: Ergebnisse der Rauheitsmessungen in Westendorf nach DIN 15610 für Messquerschnitt 1 mit Wand (links) und Messquerschnitt 2 ohne Wand (rechts).....	138
Abbildung 90: Ergebnisse der Messungen der Gleisabklingraten in Westendorf nach DIN 15461, vertikal (oben) und horizontal (unten) für Messquerschnitt 1 mit Wand und Messquerschnitt 2 ohne Wand.....	139
Abbildung 91: Auszug aus der Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes [5], Formel zur Berechnung des Nutzen-Kosten-Verhältnis .....	149
Abbildung 92: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts – Mittelrheintal 1 .....	173
Abbildung 93: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts – Mittelrheintal 2 .....	173
Abbildung 94: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts – Friedberg 1.....	174
Abbildung 95: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts – Friedberg 2.....	174
Abbildung 96: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts – Besigheim.....	174
Abbildung 97: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts – Gröbenzell.....	175
Abbildung 98: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts – Koblenz-Lahnstein.....	175
Abbildung 99: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts – Fulda.....	175
Abbildung 100: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts – Sindelfingen.....	176
Abbildung 101: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts – Walheim .....	176
Abbildung 102: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach der Zufriedenheit mit der Schallschutzmaßnahme „Schienenstegdämpfer“ im Mittelrheintal (1. Befragung).....	179
Abbildung 103: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach der Zufriedenheit mit der Schallschutzmaßnahme „Schallschutzwand“ in Friedberg (1. Befragung) .....	179
Abbildung 104: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach der Zufriedenheit mit der Schallschutzmaßnahme „Schallschutzwand“ in Gröbenzell .....	180
Abbildung 105: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach der Zufriedenheit mit der Schallschutzmaßnahme „Passiver Schallschutz“ in Fulda .....	180
Abbildung 106: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach der Zufriedenheit mit der Schallschutzmaßnahme „Schienenstegdämpfer“ im Mittelrheintal (2. Befragung).....	181

Abbildung 107: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach der Zufriedenheit mit der Schallschutzmaßnahme „Schallschutzwand“ in Friedberg (2. Befragung).....	181
Abbildung 108: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm im Wohngebiet insgesamt in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) .....	182
Abbildung 109: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm im Wohngebiet insgesamt in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung).....	182
Abbildung 110: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm im Wohngebiet insgesamt in den letzten 12 Monaten in Besigheim .....	183
Abbildung 111: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm im Wohngebiet insgesamt in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell .....	183
Abbildung 112: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm im Wohngebiet insgesamt in den letzten 12 Monaten in Koblenz-Lahnstein .....	184
Abbildung 113: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm im Wohngebiet insgesamt in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen .....	184
Abbildung 114: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm im Wohngebiet insgesamt in den letzten 12 Monaten in Walheim .....	185
Abbildung 115: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm im Wohngebiet insgesamt in den letzten 12 Monaten in Fulda .....	185
Abbildung 116: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßenverkehr insgesamt in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung).....	186
Abbildung 117: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßenverkehr insgesamt in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung) .....	186
Abbildung 118: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßenverkehr insgesamt in den letzten 12 Monaten in Besigheim .....	187
Abbildung 119: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßenverkehr insgesamt in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell .....	187
Abbildung 120: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßenverkehr insgesamt in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein .....	188
Abbildung 121: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßenverkehr insgesamt in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen .....	188
Abbildung 122: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßenverkehr insgesamt in den letzten 12 Monaten in Walheim .....	189
Abbildung 123: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßenverkehr insgesamt in den letzten 12 Monaten in Fulda .....	189
Abbildung 124: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch LKWs in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) .....	190
Abbildung 125: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch LKWs in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung).....	190
Abbildung 126: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch LKWs in den letzten 12 Monaten in Besigheim.....	191
Abbildung 127: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch LKWs in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell.....	191

Abbildung 128: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch LKWs in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein .....	192
Abbildung 129: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch LKWs in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen .....	192
Abbildung 130: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch LKWs in den letzten 12 Monaten in Walheim .....	193
Abbildung 131: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch LKWs in den letzten 12 Monaten in Fulda.....	193
Abbildung 132: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch PKWs in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung).....	194
Abbildung 133: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch PKWs in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung).....	194
Abbildung 134: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch PKWs in den letzten 12 Monaten in Besigheim.....	195
Abbildung 135: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch PKWs in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell.....	195
Abbildung 136: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch PKWs in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein .....	196
Abbildung 137: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch PKWs in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen.....	196
Abbildung 138: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch PKWs in den letzten 12 Monaten in Walheim .....	197
Abbildung 139: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch PKWs in den letzten 12 Monaten in Fulda.....	197
Abbildung 140: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Motorräder in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung).....	198
Abbildung 141: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Motorräder in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung) .....	198
Abbildung 142: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Motorräder in den letzten 12 Monaten in Besigheim .....	199
Abbildung 143: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Motorräder in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell .....	199
Abbildung 144: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Motorräder in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein .....	200
Abbildung 145: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Motorräder in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen .....	200
Abbildung 146: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Motorräder in den letzten 12 Monaten in Walheim .....	201
Abbildung 147: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Motorräder in den letzten 12 Monaten in Fulda.....	201
Abbildung 148: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung).....	202



Abbildung 149: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung).....	202
Abbildung 150: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten in Besigheim .....	203
Abbildung 151: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell .....	203
Abbildung 152: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein .....	204
Abbildung 153: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen .....	204
Abbildung 154: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten in Walheim .....	205
Abbildung 155: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten in Fulda .....	205
Abbildung 156: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Güterzüge in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung).....	206
Abbildung 157: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Güterzüge in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung).....	206
Abbildung 158: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Güterzüge in den letzten 12 Monaten in Besigheim .....	207
Abbildung 159: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Güterzüge in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell .....	207
Abbildung 160: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Güterzüge in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein .....	208
Abbildung 161: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Güterzüge in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen.....	208
Abbildung 162: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Güterzüge in den letzten 12 Monaten in Walheim .....	209
Abbildung 163: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Güterzüge in den letzten 12 Monaten in Fulda.....	209
Abbildung 164: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Personenzüge in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) .....	210
Abbildung 165: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Personenzüge in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung).....	210
Abbildung 166: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Personenzüge in den letzten 12 Monaten in Besigheim.....	211
Abbildung 167: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Personenzüge in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell.....	211
Abbildung 168: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Personenzüge in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein .....	212
Abbildung 169: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Personenzüge in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen.....	212

Abbildung 170: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Personenzüge in den letzten 12 Monaten in Walheim .....	213
Abbildung 171: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Personenzüge in den letzten 12 Monaten in Fulda .....	213
Abbildung 172: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßen- und U-Bahnen in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung).....	214
Abbildung 173: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßen- und U-Bahnen in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung).....	214
Abbildung 174: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßen- und U-Bahnen in den letzten 12 Monaten in Besigheim .....	215
Abbildung 175: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßen- und U-Bahnen in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell.....	215
Abbildung 176: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßen- und U-Bahnen in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein.....	216
Abbildung 177: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßen- und U-Bahnen in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen .....	216
Abbildung 178: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßen- und U-Bahnen in den letzten 12 Monaten in Walheim .....	217
Abbildung 179: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßen- und U-Bahnen in den letzten 12 Monaten in Fulda .....	217
Abbildung 180: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm von Baustellen in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) .....	218
Abbildung 181: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm von Baustellen in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung).....	218
Abbildung 182: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm von Baustellen in den letzten 12 Monaten in Besigheim .....	219
Abbildung 183: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm von Baustellen in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein .....	219
Abbildung 184: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm von Baustellen in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen .....	220
Abbildung 185: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm von Baustellen in den letzten 12 Monaten in Walheim .....	220
Abbildung 186: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm von Baustellen in den letzten 12 Monaten in Fulda .....	221
Abbildung 187: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Erschütterungen vom Eisenbahnverkehr in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) ...	222
Abbildung 188: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Erschütterungen vom Eisenbahnverkehr in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung) .....	222
Abbildung 189: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Erschütterungen vom Eisenbahnverkehr in den letzten 12 Monaten in Besigheim .....	223
Abbildung 190: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Erschütterungen vom Eisenbahnverkehr in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell .....	223

Abbildung 191: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Erschütterungen vom Eisenbahnverkehr in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein .....	224
Abbildung 192: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Erschütterungen vom Eisenbahnverkehr in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen .....	224
Abbildung 193: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Erschütterungen vom Eisenbahnverkehr in den letzten 12 Monaten in Walheim .....	225
Abbildung 194: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Erschütterungen vom Eisenbahnverkehr in den letzten 12 Monaten in Fulda .....	225
Abbildung 195: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Lärm in der Wohnumgebung insgesamt in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) .....	226
Abbildung 196: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Lärm in der Wohnumgebung insgesamt in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung) .....	226
Abbildung 197: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Lärm in der Wohnumgebung insgesamt in den letzten 12 Monaten in Besigheim .....	227
Abbildung 198: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Lärm in der Wohnumgebung insgesamt in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell .....	227
Abbildung 199: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Lärm in der Wohnumgebung insgesamt in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein .....	228
Abbildung 200: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Lärm in der Wohnumgebung insgesamt in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen .....	228
Abbildung 201: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Lärm in der Wohnumgebung insgesamt in den letzten 12 Monaten in Walheim .....	229
Abbildung 202: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Lärm in der Wohnumgebung insgesamt in den letzten 12 Monaten in Fulda .....	229
Abbildung 203: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Straßenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) .....	230
Abbildung 204: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Straßenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung) .....	230
Abbildung 205: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Straßenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Besigheim .....	231
Abbildung 206: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Straßenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell .....	231
Abbildung 207: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Straßenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein	232

Abbildung 208: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Straßenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen ..... 232

Abbildung 209: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Straßenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Walheim ..... 233

Abbildung 210: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Straßenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Fulda ..... 233

Abbildung 211: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Schienenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) ..... 234

Abbildung 212: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Schienenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung) ..... 234

Abbildung 213: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Schienenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Besigheim..... 235

Abbildung 214: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Schienenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell..... 235

Abbildung 215: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Schienenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein..... 236

Abbildung 216: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Schienenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen ..... 236

Abbildung 217: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Schienenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Walheim ..... 237

Abbildung 218: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Schienenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Fulda..... 237

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auslösewerte der Lärmsanierung zu den verschiedenen Zeitpunkten der schalltechnischen Untersuchungen .....	29
Tabelle 2: Übersicht über die acht Untersuchungsgebiete mit Art der Schallschutzmaßnahme und Implementierungszeitraum.....	48
Tabelle 3: Befragungszeiträume in den Untersuchungsgebieten.....	57
Tabelle 4: Übersicht über die Anzahl der Teilnehmenden je Untersuchungsgebiet und Befragungszeitpunkt.....	58
Tabelle 5: Soziodemographische Merkmale in den Stichproben der Untersuchungsgebiete.....	61
Tabelle 6: Soziodemographische Merkmale in den Stichproben der Untersuchungsgebiete (Fortsetzung von Tabelle 5) .....	62
Tabelle 7: Angaben zu wahrgenommenen Veränderungen im Eisenbahnverkehr.....	64
Tabelle 8: Übersicht über Gründe für Zufriedenheitsurteile über die jeweiligen Schallschutzmaßnahmen .....	79
Tabelle 9: Korrelationen zwischen Belästigung, Schlafstörung, Zufriedenheit mit Schallschutzmaßnahmen und nicht-akustischen Faktoren .....	99
Tabelle 10: Übersicht aller Maximalwerte in Pegel und Lautheit für die Vorbeifahrten mit der Maßnahme „Schallschutzwand“ .....	113
Tabelle 11: Übersicht aller Maximalwerte der Vorbeifahrten für die Maßnahme „Schienenstegdämpfer“ .....	115
Tabelle 12: Zusammenfassende Übersicht über Wirkungsunterschiede ermittelt durch rein akustische Darbietung (Resultate der psychoakustischen Untersuchung) und den Ergebnissen der Befragung vor Ort (Resultate der psychologisch-sozialwissenschaftlichen Befragung).....	123
Tabelle 13: Messgeräte.....	130
Tabelle 14: Witterungsbedingungen Luftschallmessung Happing .....	131
Tabelle 15: Witterungsbedingungen Luftschallmessung Westendorf.....	131
Tabelle 16: Messzeiträume Rauheitsmessung und Messung der Gleisabklingrate .....	133
Tabelle 17: Gemittelte Einzelereignispegel in Happing je Zugkategorie und Gleis sowie Anzahl Züge und mittlere Geschwindigkeit im Messzeitraum.....	136
Tabelle 18: Messtechnisch ermittelte Immissionspegel in Happing auf Grundlage der gemessenen Verkehrsstärke im Vergleich zu berechneten Beurteilungspegeln aus schalltechnischer Untersuchung zur Lärmsanierung.....	136
Tabelle 19: Messtechnisch ermittelte Immissionspegel in Happing auf Grundlage der prognostizierten Verkehrsstärke im Vergleich zu berechneten Beurteilungspegeln aus schalltechnischer Untersuchung zur Lärmsanierung.....	138
Tabelle 20: Gemittelte Einzelereignispegel in Westendorf je Zugkategorie und Gleis sowie Anzahl Züge und mittlere Geschwindigkeit im Messzeitraum in Westendorf.....	140

Tabelle 21: Messtechnisch ermittelte Immissionspegel in Westendorf auf Grundlage der gemessenen Verkehrsstärke im Vergleich zu berechneten Beurteilungspegeln aus schalltechnischer Untersuchung zur Lärmsanierung.....	141
Tabelle 22: Messtechnisch ermittelte Immissionspegel in Westendorf auf Grundlage der prognostizierten Verkehrsstärke im Vergleich zu berechneten Beurteilungspegeln aus schalltechnischer Untersuchung zur Lärmsanierung.....	143
Tabelle 23: Erwartungen zukünftiger Veränderungen im Eisenbahnverkehr in den Untersuchungsgebieten mit Vorher-Befragung.....	177
Tabelle 24: Angabe über den Zeitraum, ab dem die Änderungen eingetreten sind.....	177
Tabelle 25: Offene Angaben dazu, was sich an Vorbeifahrgeräuschen verändert habe .....	178
Tabelle 26: Überblick über Vorschläge zur Kommunikation von und Informationen über (geplante) Maßnahmen.....	238

# Quellenverzeichnis

- [1] Datensatz der schalltechnischen Untersuchungen, welche im Rahmen des Lärmsanierungsprogramm durchgeführt wurden, bereitgestellt von DB Netz AG, Dezember 2018
- [2] Gesamtkonzept der Lärmsanierung, Stand 2018
- [3] Gesamtkonzept der Lärmsanierung, Stand 2013
- [4] Gesamtkonzept der Lärmsanierung, Stand 2005
- [5] „Richtlinie für die Förderung von Maßnahmen zur Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes“ in der Fassung der Bekanntmachung vom 06. Dezember 2018
- [6] „Richtlinie für die Förderung von Maßnahmen zur Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes“ in der Fassung der Bekanntmachung vom 07. Mai 2014
- [7] „Richtlinie für die Förderung von Maßnahmen zur Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes“ in der Fassung der Bekanntmachung vom 23.09.2009
- [8] „Richtlinie für die Förderung von Maßnahmen zur Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes“ in der Fassung der Bekanntmachung vom 07. März 2005
- [9] Ausführungsbestimmungen des Eisenbahn-Bundesamtes zur Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes vom 18. April 2017
- [10] Elfte Gesetz zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, vom 2. Juli. 2013
- [11] Gesamtprojektübersicht der Maßnahmen des Lärmsanierungsprogramm, übermittelt von DB Netz AG am 10.12.2019
- [12] Kostenaufstellung der Maßnahmen des Lärmsanierungsprogramm, übermittelt von DB Netz AG am 29.11.2018
- [13] Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung) vom 4. Februar 1997
- [14] I-LENA: Vorstellung der Maßnahmen, DB Netz AG vom 11.10.2017
- [15] Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, Umweltbundesamt vom März 2017
- [16] Sonderprogramm Lärmschutz Schiene zur Finanzierung von Einzelmaßnahmen zum Lärmschutz an Schienenwegen des Bundes im Rahmen des Infrastrukturbeschleunigungsprogramm II (IBP II), DB Netz AG vom Dezember 2015
- [17] Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg, DB Netz AG, vom 15.06.2012

- [18] Anlage 2 (zu § 4) der Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV) Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03), Fassung 2012
- [19] Anlage 2 der Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV) Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen (Schall 03), Ausgabe 1990
- [20] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV), Fassung 2014
- [21] DB Netz AG, Anlage 1 zum Schlussbericht SV 40/ 2013 (Sonderprogramm Lärmschutz Schiene – IBP II, Frankfurt am Main, Dez 2015
- [22] Übersicht der EBA-Zulassungen und Technischen Freigaben der DB Netz AG für Hersteller von Schienenschmier- und -konditionieranlagen, Stand 27.03.2020
- [23] Übersicht Lärmschutztechnologien, übermittelt von DB Netz AG am 13.10.2020
- [24] Übersicht der EBA Zulassungen und Technischen Freigabe der DB Netz AG für Hersteller von Schienenschmier- und -konditionieranlagen, übermittelt von DB Netz AG am 27.03.2020
- [25] Mail von Herr Christian Frank, DB Netz AG, gesendet am 14.09.2020
- [26] Mail zu Kostenansatz von Lärmschutzwänden, DB Netz AG, gesendet am 03.04.2020
- [27] Guski, R. (1999). Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance. *Noise & Health*, 3, 45-56.
- [28] Liepert, M., Möhler, U., Schreckenber, D. & Schuemer, R. (2000). Lästigkeitsunterschied von Straßen- und Schienenverkehrslärm im Innenraum. München: SGS.
- [29] Schreckenber, D., Faulbaum, F., Guski, R., Ninke, L., Peschel, C., Spilski, J. & Wothge, J. (2015). Wirkungen von Verkehrslärm auf die Belästigung und Lebensqualität. In: Gemeinnützige Umwelthaus gGmbH (Hg.), NORAH (Noise related annoyance cognition and health): Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld (Bd. 3). Kelsterbach: Umwelthaus gGmbH. [https://www.norah-studie.de//de/publikationen.html?file=files/norah-studie.de/Downloads/NORAH\\_Bd3\\_M1\\_Endbericht\\_151031.pdf](https://www.norah-studie.de//de/publikationen.html?file=files/norah-studie.de/Downloads/NORAH_Bd3_M1_Endbericht_151031.pdf)
- [30] Studiengemeinschaft Schienenverkehr (SGS). (2001). Lärmwirkungen des Schienenverkehrs – Aktuelle Untersuchungsergebnisse. München: Möhler + Partner.
- [31] Schreckenber, D. (2012). Aircraft noise annoyance and residents' acceptance and use of sound proof windows and ventilation systems. *Proceedings of INTER-NOISE 2012*. New York, 19-22 August 2012, Paper No. 101
- [32] Öhrström, E., Skanberg, A., Svensson, H., Gidlöf-Gunnarsson, A. (2006). Effects of road traffic noise and the benefit of access to quietness. *Journal of Sound and Vibration*, 295, 40-59.
- [33] Schreckenber, D., Benz, S., Kuhlmann, J., Conrady, M. & Felscher-Suhr, U. (2017). Attitudes towards authorities and aircraft noise annoyance. Sensitivity analyses on the relationship between non-acoustical factors and annoyance. *Proceedings of the 12th ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem*, June 18-22, 2017. Zurich, Switzerland.



- [http://www.icben.org/2017/ICBEN%202017%20Papers/SubjectArea06\\_Schreckenberg\\_P28\\_3636.pdf](http://www.icben.org/2017/ICBEN%202017%20Papers/SubjectArea06_Schreckenberg_P28_3636.pdf)
- [34] Arnstein, S. R. (1969): A Ladder of Citizen Participation. *Journal of the American Institute of Planners*, 35(4), 216-224. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01944366908977225>
- [35] DIN 45642:2004-06, Messung von Verkehrsgeräuschen
- [36] DIN 45645-1:1996-07, Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen - Teil 1: Geräuschmissionen in der Nachbarschaft
- [37] DIN EN ISO 3095:2014-07, Akustik - Bahnanwendungen - Messung der Geräuschemission von spurgebundenen Fahrzeugen
- [38] Schalltechnische Untersuchung, Lärmsanierungsprogramm an Schienenwegen des Bundes, Rosenheim – Happing, Streckennummer 5702, Stadt. Rosenheim, km 2,7 bis km 3,9; Bericht 17-53495-I.T-IVE 34(1); DB Systemtechnik GmbH vom 16.06.2017
- [39] Schalltechnisches Gutachten, Lärmsanierungsprogramm an Schienenwegen des Bundes, Strecke 5300, Augsburg – Nördlingen, Ortsdurchfahrt Westendorf, Bahn-km 23,100 – 24,300; A.I.T. GmbH vom 07.05.2009
- [40] DIN EN 15610:2009-08, Bahnanwendungen - Geräuschemission - Messung der Schienenrauheit im Hinblick auf die Entstehung von Rollgeräusch
- [41] DIN EN 15461:2011-01, Bahnanwendungen - Schallemission - Charakterisierung der dynamischen Eigenschaften von Gleisabschnitten für Vorbeifahrtgeräuschmessungen
- [42] Schienenlärmschutzgesetz vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2804)
- [43] Nationales Fahrzeugregister: Bestand nach Bremssohlentyp; Auswertung des Eisenbahn-Bundesamts vom 01. Oktober 2020
- [44] Lärmschutzziele 2030 des BMVI, <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/laermschutzziel-2030-1827816>
- [45] Harmonisierung des Lärmsanierungsprogramms mit der Lärmaktionsplanung, [https://www.eba.bund.de/DE/Themen/Laerm\\_an\\_Schienenwegen/Harmonisierung/harmonisierung\\_node.html](https://www.eba.bund.de/DE/Themen/Laerm_an_Schienenwegen/Harmonisierung/harmonisierung_node.html)
- [46] Möhler, U., Liepert, M., Skowronek, V., Schreckenberger, D., Belke, C., Benz, S. und Müller, U., 2017. Gutachten zur Berücksichtigung eines Maximalpegelkriteriums bei der Beurteilung von Schienenverkehrslärm in der Nacht. Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. München, Hagen, Köln. [Zugriff am 22.10.17] Verfügbar unter: <https://umwelt.hessen.de/sites/default/files/media/hmuelv/schlussbericht.pdf>.

# Anhänge

Anhang 1: Übersicht der einsetzbaren Schallschutzwände .....	171
Anhang 2: Übersicht der einsetzbaren niedrigen Schallschutzwände.....	172
Anhang 3: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in den Untersuchungsgebieten in Pegel- klassen des Beurteilungspegels nachts .....	173
Anhang 4: Ergebnisse der psychologisch-sozialwissenschaftlichen Befragung.....	177
Anhang 5: Messprotokolle der Schallmessungen.....	240

# Anhang 1: Übersicht der einsetzbaren Schallschutzwände

## Schallschutzwände

Hersteller	Produkt(e)
Betonwerk Rieder GmbH & Co. KG	A 300/3.80, A 250/3.80, A 160/3.30, M 300/3.80, M 250/3.80, M 160/3.30, FASETON Block und Hohlwelle mit 12,5 cm Tragschale
Bongard & Lind Noise Protection GmbH & Co. KG	A3-b (DB-95), A3-e (DB-95), A3-b (DB-95), A3-e (DB-95) – L, A3-e (DB-95) – L, A3-b (DB-95) – L, A3-b (DB-95) – L, Typ A3-e (DB-88), Typ A3-e (DB-88), Typ A3-r (DB-88), Typ A3-r (DB-88), Typ T15-Acryl d15, Typ T15-Acryl d20
EUDUR-Bau GmbH & Co. KG	LiaDur-DB-300, LiaDur-DB-120, LiaDur-DB-160, LiaDur-DB-160/3,3, LiaDur-DB-230
EUROVIA Beton GmbH	TECO ZE-I (N), TECO ZE-I (N) B, TAP Rail (15 mm SoundStop GSCC), TAP Rail (20 mm SoundStop GSCC)
EUROVIA Beton GmbH, NL TECO Schallschutz, Vertrieb: R. KOHLHAUER GmbH	TAP-RAIL LxH E/F/15, TAP-RAIL LxH E/F/20
Faist Anlagenbau GmbH	RAIL A4-EH-1S, RAIL A4-EH-3S
FORSTER Metallbau Gesellschaft mbH	Aluminium Lärmschutzelement einseitig hochabsorbierend: FONOCON Rail Typ S160-ES, S200-ES Aluminium Lärmschutzelement beidseitig hochabsorbierend FONOCON Rail Typ S160-BS, S200-BS Glaskombielement Acryl reflektierend FONOCON Rail Typ GKBE 319-P Aluminium Lärmschutzelement einseitig hochabsorbierend FONOCON Rail Typ Delta Aluminium Lärmschutzelement beidseitig hochabsorbierend FONOCON Rail Typ Delta, Delta Top
Interfer Aluminium GmbH	Typs LSW 30-1.1, LSW 30-1.1 AA, LSW 30-2, LSW 30-2 AA, LSW 30-3, LSW 30-3 AA, LSW 30-4, LSW 30-4 AA, LSW 30-T-1, LSW 30-T-2
K. Schütte GmbH	ELB 500FA, Glaselement DB CC 15/20
LS Lublow GmbH	LSW 30-1.1, 2, 3, 4, T1, T2 Noise PhalanX FEAL NoisePhalanX R160 EA, BA, R200 EA, BA, R300 EA
OTTO FUCHS KG	OFL-E-120-500, B-120-500, T-120-500, T-120-1000
Züblin AG	ZÜ AL HGV, ZÜ AL HGVeha, 501, 502, ZÜ AL HGVbha, 502

## Anhang 2: Übersicht der einsetzbaren niedrigen Schallschutzwände

### Niedrige Schallschutzwände

Hersteller	Produkt(e)
FORSTER Metallbau Gesellschaft mbH	Niedrig Lärmschutzwandsystem FONOCAN NoiseBreaker Typ LNB151 Gleisnahes niedrig Lärmschutzwandsystem FONOCAN NoiseBreaker Typ LNB164
Hering Bau GmbH & Co. KG und Bauunternehmen Deutschle GmbH & Co. KG	Ferrondo Silenzio Forte
Betonwerk Rieder GmbH & Co. KG	niedrige LSW 360° in Stützen

## Anhang 3: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in den Untersuchungsgebieten in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts

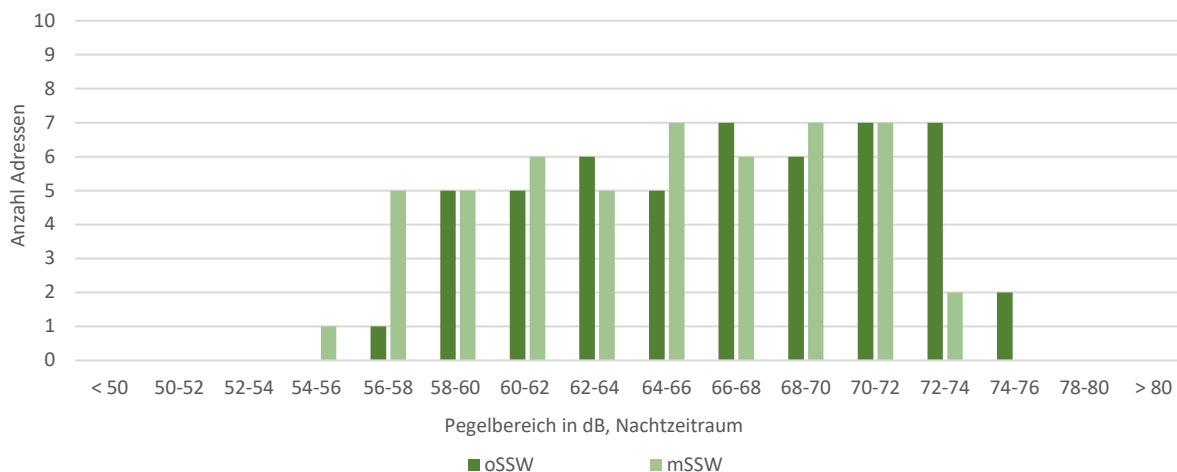


Abbildung 92: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts – Mittelrheintal 1

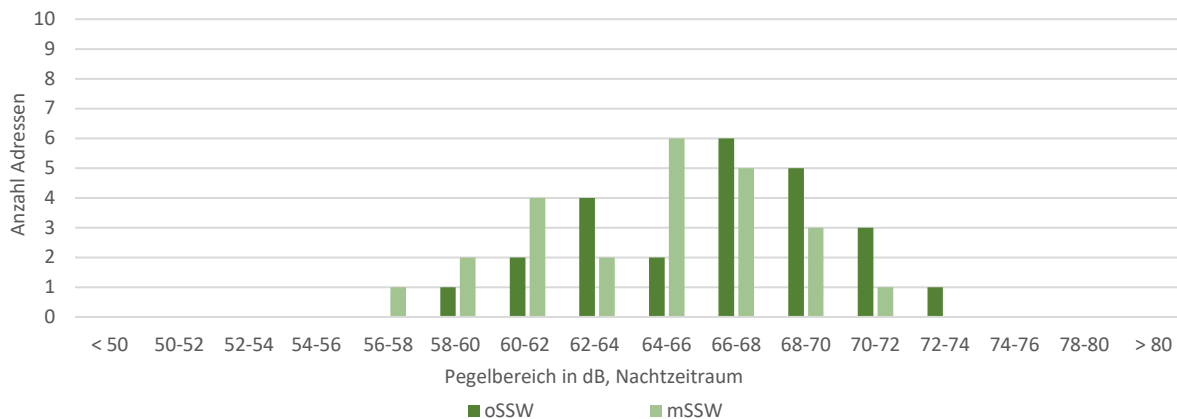


Abbildung 93: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts – Mittelrheintal 2

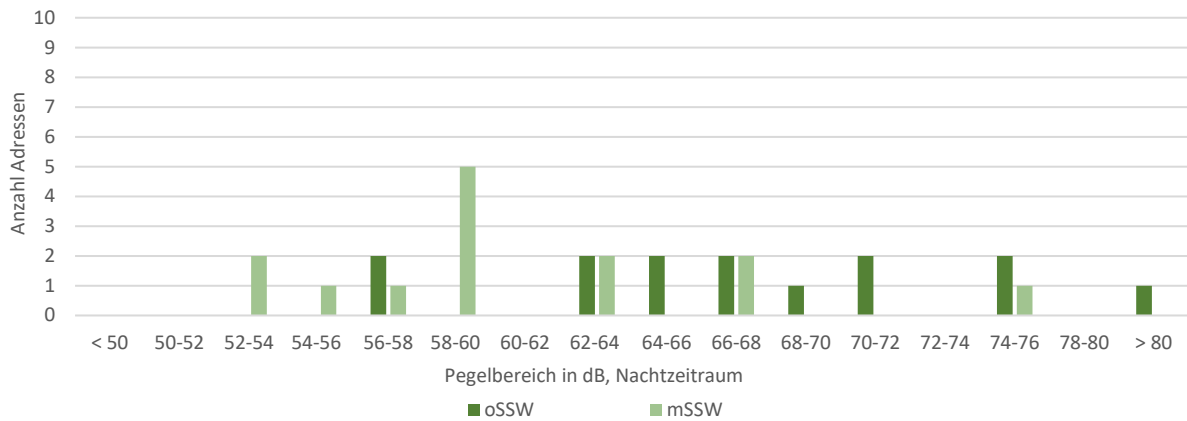


Abbildung 94: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts – Friedberg 1

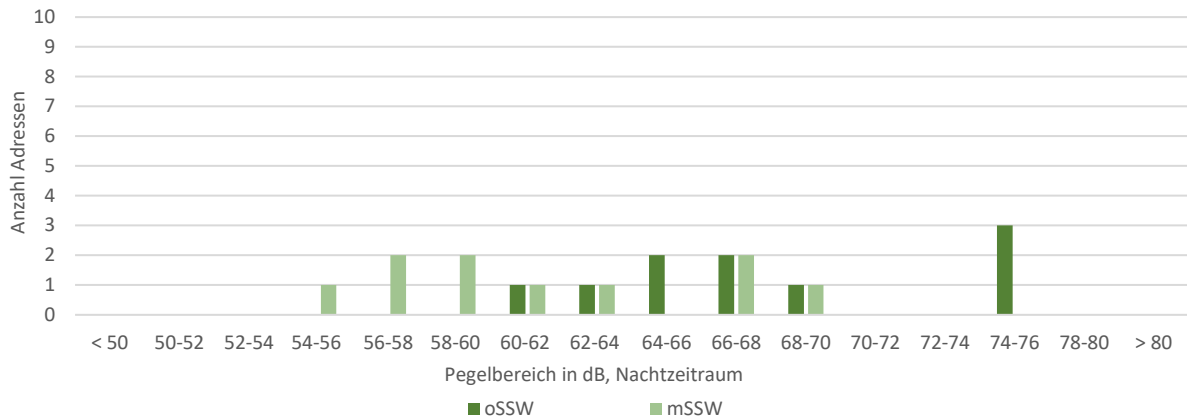


Abbildung 95: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts – Friedberg 2

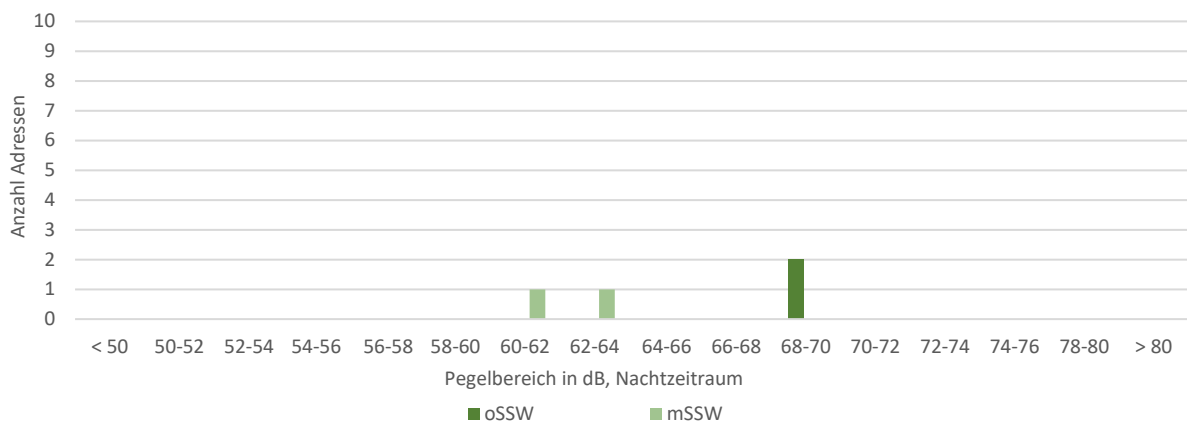


Abbildung 96: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts – Besigheim

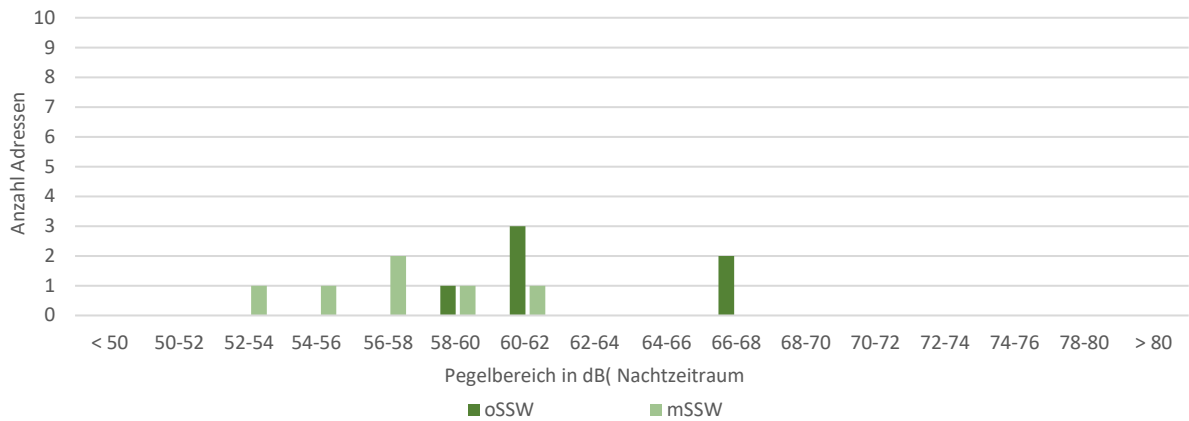


Abbildung 97: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts – Gröbenzell

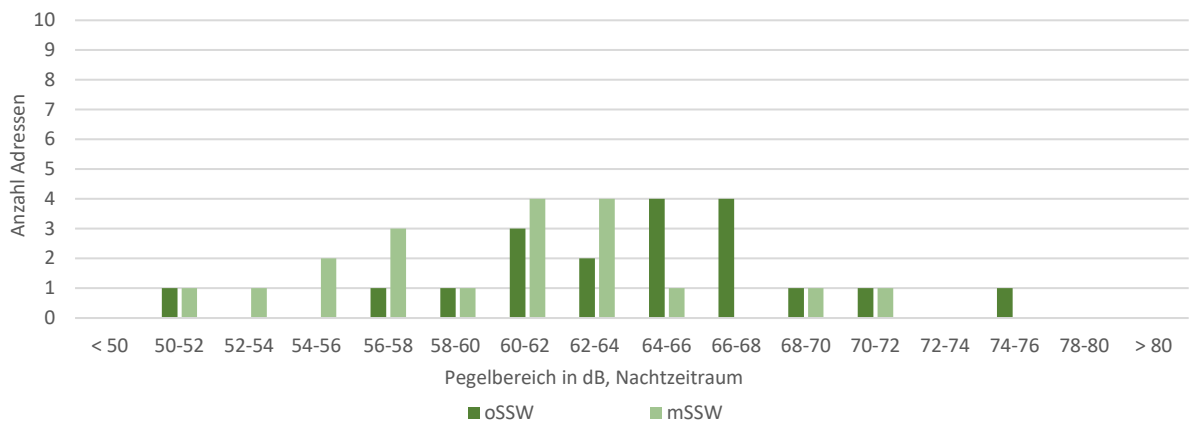


Abbildung 98: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts – Koblenz-Lahnstein

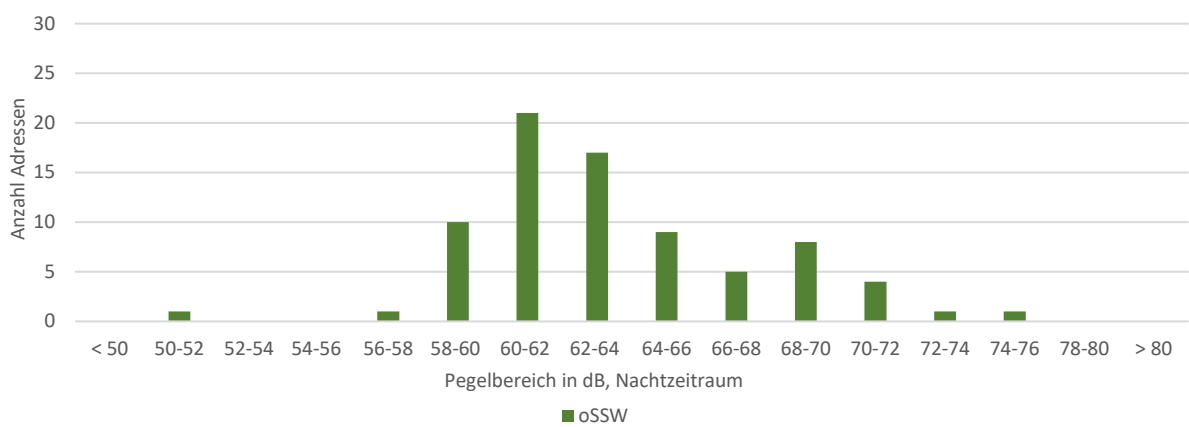


Abbildung 99: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts – Fulda

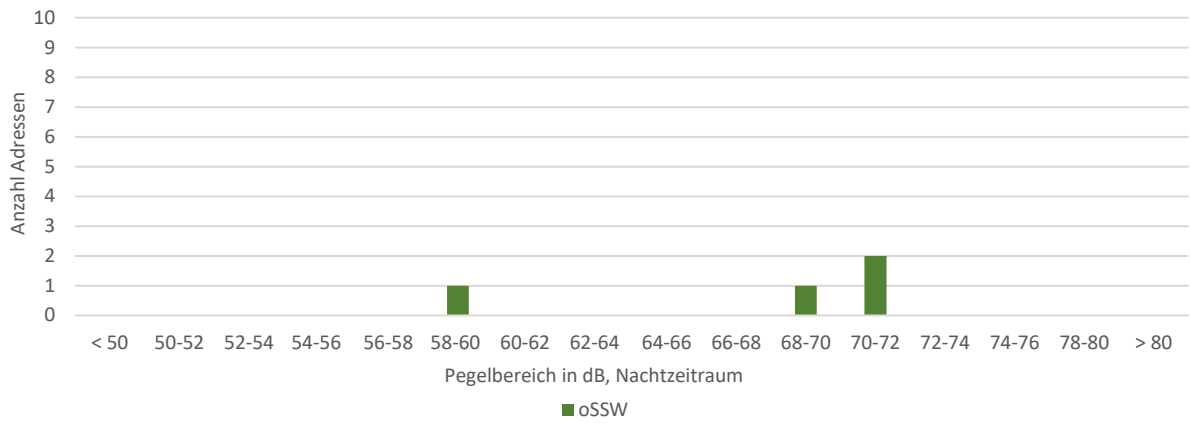


Abbildung 100: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts – Sindelfingen

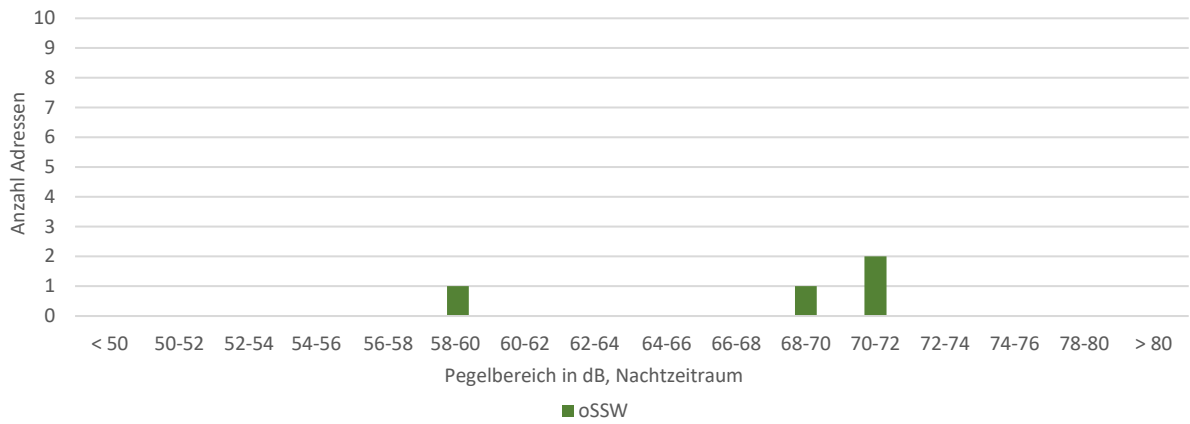


Abbildung 101: Verteilung der Befragungsteilnehmenden in Pegelklassen des Beurteilungspegels nachts – Walheim



## Anhang 4: Ergebnisse der psychologisch-sozialwissenschaftlichen Befragung

### Veränderungserwartung und wahrgenommene Veränderungen

TABELLE 23: ERWARTUNGEN ZUKÜNFTIGER VERÄNDERUNGEN IM EISENBAHNVERKEHR IN DEN UNTERSUCHUNGSGEBIETEN MIT VORHER-BEFragung

	<b>Besigheim</b> (ASS: Schallschutzwand)	<b>Koblenz/Lahnstein</b> (ASS: Schienenstegdämpfer)
<b>Frage: „Wenn Sie einmal an den Eisenbahnverkehr in den nächsten 12 Monaten denken: Wird es hier bei Ihnen eine Veränderung geben?“</b>		
nein	50%	100%
ja	50%	0%
Gesamt N	4	29
<b>Frage: „Erwarten Sie Änderungen des Eisenbahnlärms?“</b>		
Der Bahnlärm nimmt zu.	25%	38%
Der Bahnlärm nimmt ab.	0	24%
Der Bahnlärm bleibt gleich/unverändert.	75%	38%
Gesamt N	4	29
<b>Frage: „Wird sich dadurch Ihre Wohnqualität insgesamt verändern?“</b>		
Ja, die Wohnqualität wird sich verschlechtern.	0	50%
Nein, die Wohnqualität wird gleichbleiben.	100%	50%
Ja, die Wohnqualität wird sich verbessern.	0	0
Gesamt N	2	2

TABELLE 24: ANGABE ÜBER DEN ZEITRAUM, AB DEM DIE ÄNDERUNGEN EINGETRETEN SIND

	<b>Mittelrheintal</b> (1. + 2. Befragung) (ASS: Schienenstegdämpfer)	<b>Friedberg</b> (1. + 2. Befragung) (ASS: Schallschutzwand)
Ungefähr korrekte Zeitangabe	18	15
Seit einigen Jahren (1-3 Jahre)	13	0
Keine Zeitangabe	4	2

TABELLE 25: OFFENE ANGABEN DAZU, WAS SICH AN VORBEIFAHRRGERÄUSCHEN VERÄNDERT HABE\*

<b>Mittelrheintal (ASS: Schienenstegdämpfer)</b>	<b>Anzahl der Nennungen</b>
Sie sind leiser geworden	22
Geräuschcharakteristik hat sich verändert	8
Auswechseln von Holz- gegen Betonschwellen	2
Es ist lauter geworden	2
Höhere Frequenz an Fahrten	1
Es gibt mehr Erschütterungen	1
Züge sind länger	1
Unspezifische Angaben	10
<b>Friedberg (ASS: Schallschutzwand)</b>	
Veränderte Geräuschcharakteristik	2
Sie sind lauter geworden	1
Sie sind leiser geworden	4
Unspezifisch	4
<b>Gröbenzell (ASS: Schallschutzwand, Gabione)</b>	
Veränderte Geräuschcharakteristik	4
Sie sind leiser geworden	2
Bodenübertragung hat sich erhöht	1

\* die Angaben stammen von Personen, die bei der vorangegangenen Frage, ob sich sonst etwas am Vorbeifahrtsgeräusch der Eisenbahnen verändert habe mit „Ja“ geantwortet haben.

### Zufriedenheit mit Schallschutzmaßnahmen

Die Teilnehmenden wurden gefragt, wie zufrieden sie mit der bei Ihnen implementierten Schallschutzmaßnahme sind. Die Zufriedenheitswertung wurde auf einer Skala von (1) *nicht zufrieden* bis (5) *sehr zufrieden* abgegeben. Abbildung 102 bis Abbildung 107 zeigen die Häufigkeitsangaben der Zufriedenheitswertung pro Untersuchungsgebiet.

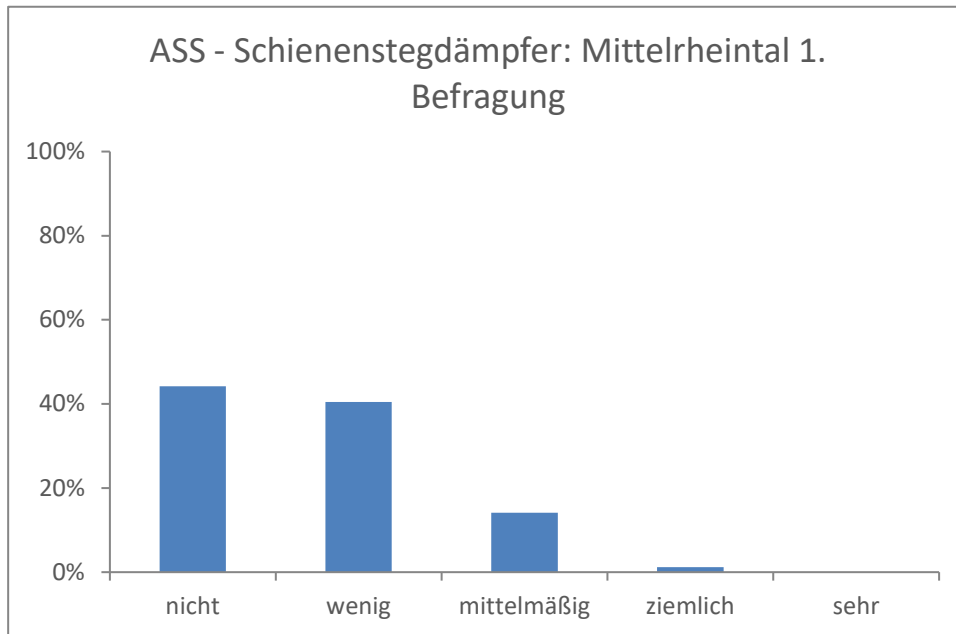


Abbildung 102: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach der Zufriedenheit mit der Schallschutzmaßnahme „Schienenstegdämpfer“ im Mittelrheintal (1. Befragung) (N = 163)

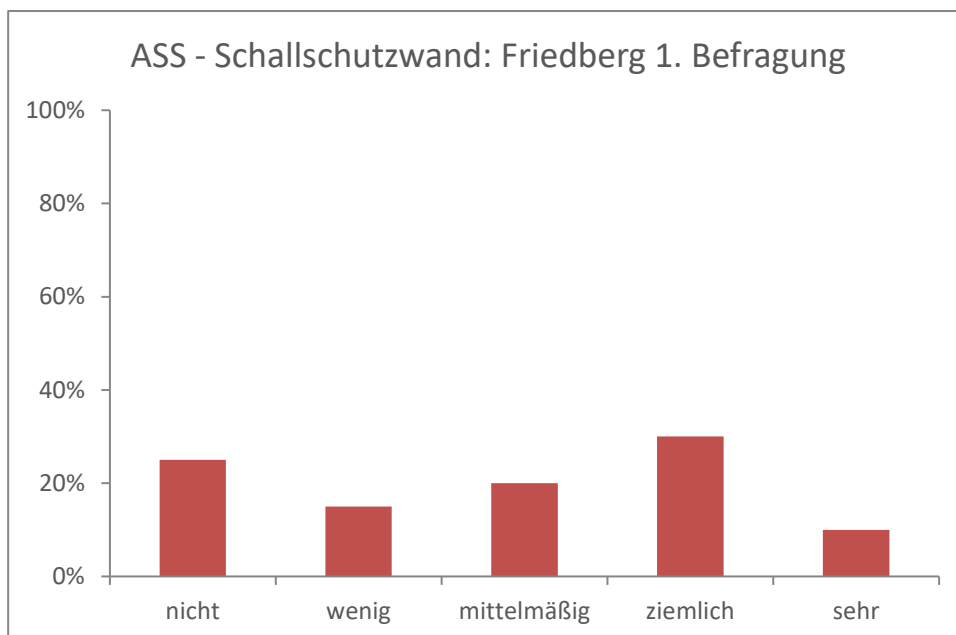


Abbildung 103: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach der Zufriedenheit mit der Schallschutzmaßnahme „Schallschutzwand“ in Friedberg (1. Befragung) (N = 20)

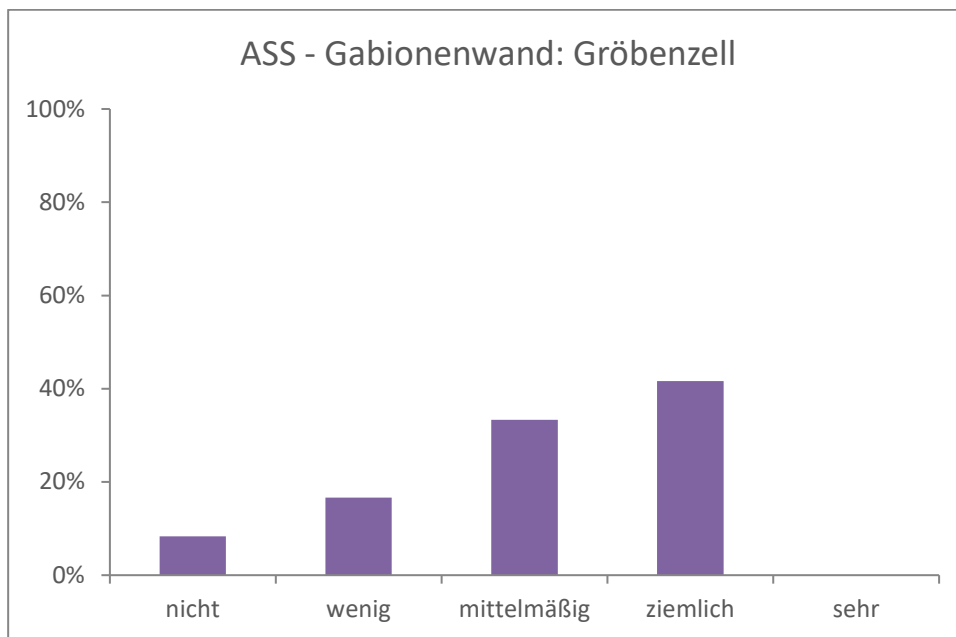


Abbildung 104: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach der Zufriedenheit mit der Schallschutzmaßnahme „Schallschutzwand“ in Gröbenzell (N = 12)

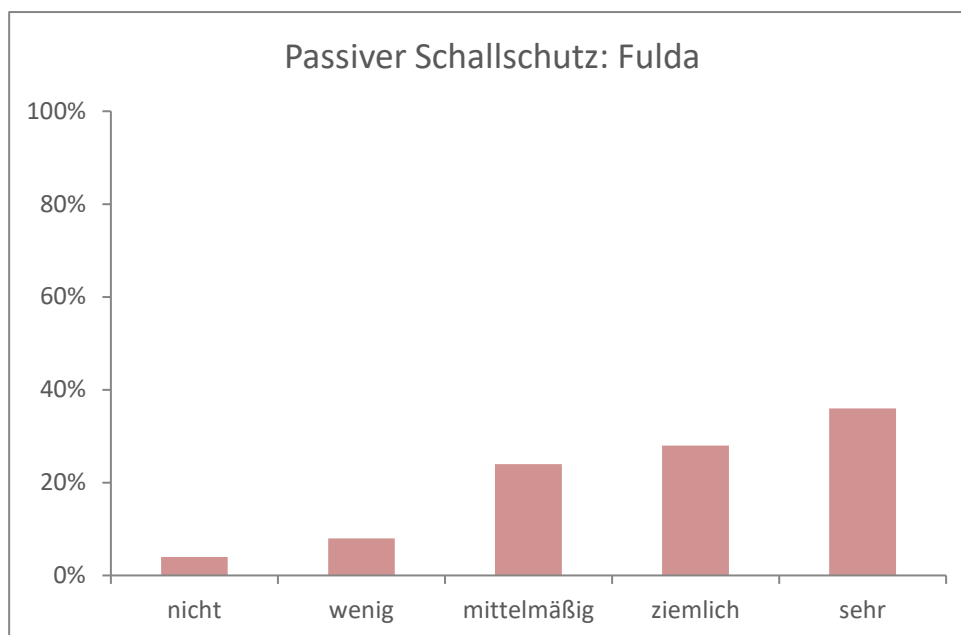


Abbildung 105: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach der Zufriedenheit mit der Schallschutzmaßnahme „Passiver Schallschutz“ in Fulda (N = 25)

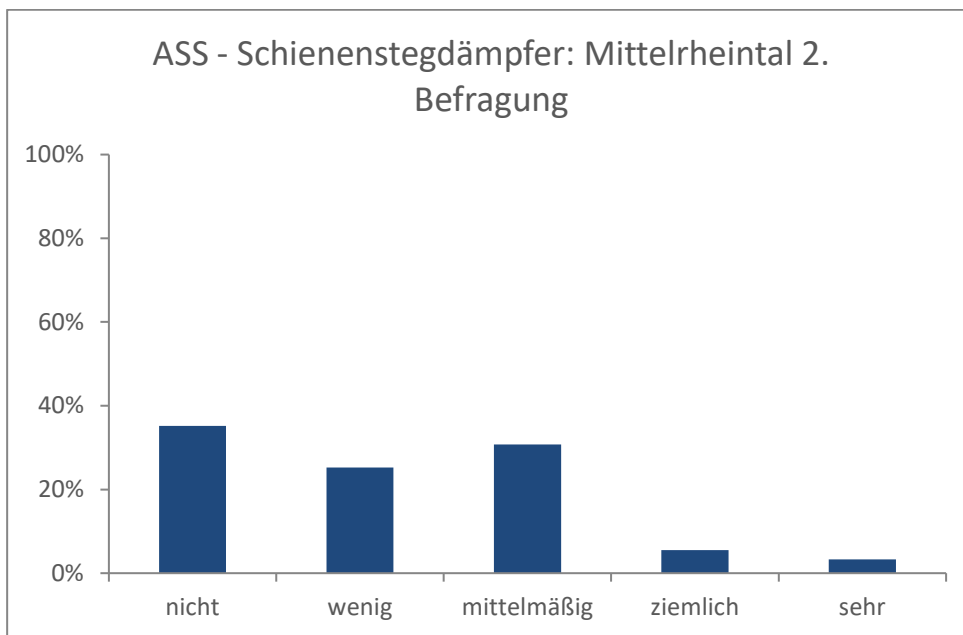


Abbildung 106: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach der Zufriedenheit mit der Schallschutzmaßnahme „Schienenstegdämpfer“ im Mittelrheintal (2. Befragung) (N = 91)

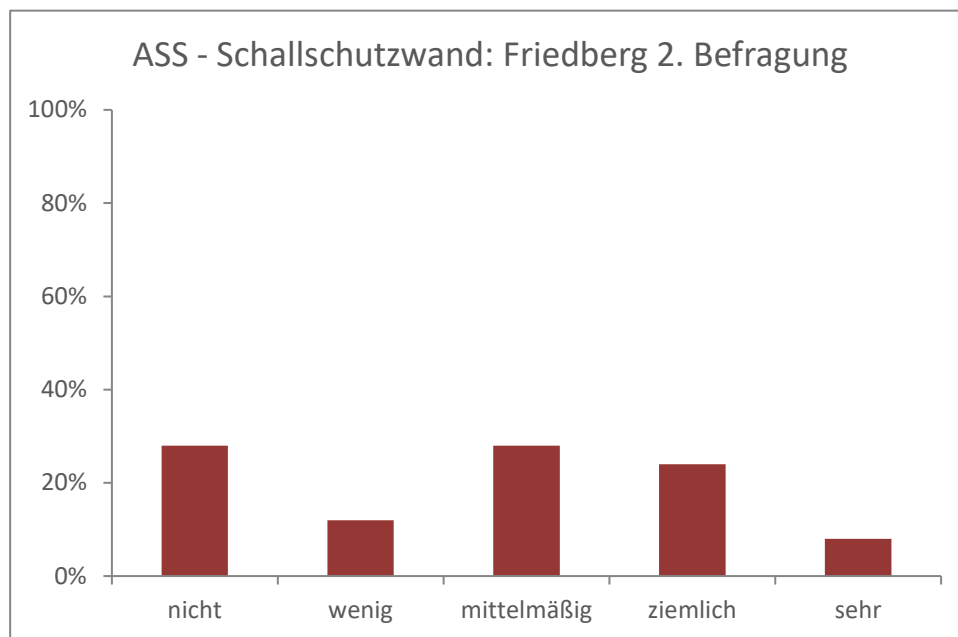


Abbildung 107: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach der Zufriedenheit mit der Schallschutzmaßnahme „Schallschutzwand“ in Friedberg (2. Befragung) (N = 25)

**Belästigung durch Lärm im Wohngebiet insgesamt in den letzten 12 Monaten**

Abbildung 108 bis Abbildung 115 zeigen für die Untersuchungsgebiete die Häufigkeit der einzelnen Antworten für die Frage nach der Belästigung durch Lärm im Wohngebiet insgesamt in den letzten 12 Monaten. Beantwortet wird die Belästigungsfrage auf einer Skala von (1) *überhaupt nicht belästigt* bis (5) *äußerst belästigt*.

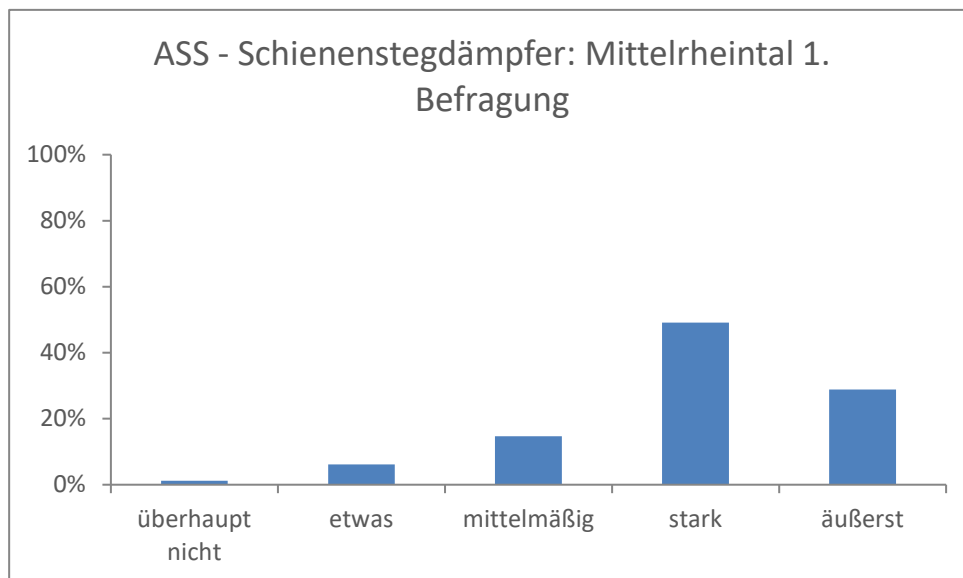


Abbildung 108: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm im Wohngebiet insgesamt in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) (N = 163)

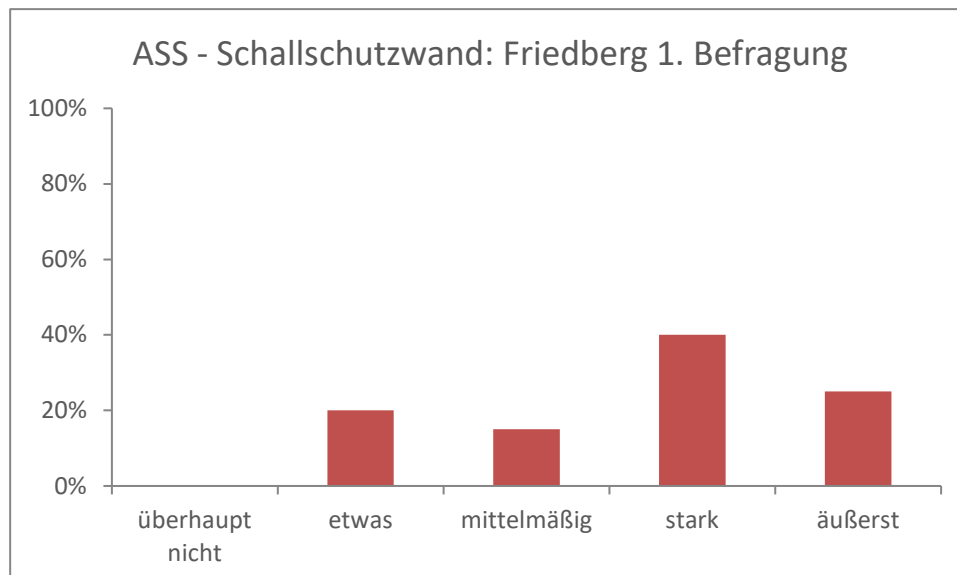


Abbildung 109: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm im Wohngebiet insgesamt in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung) (N = 20)

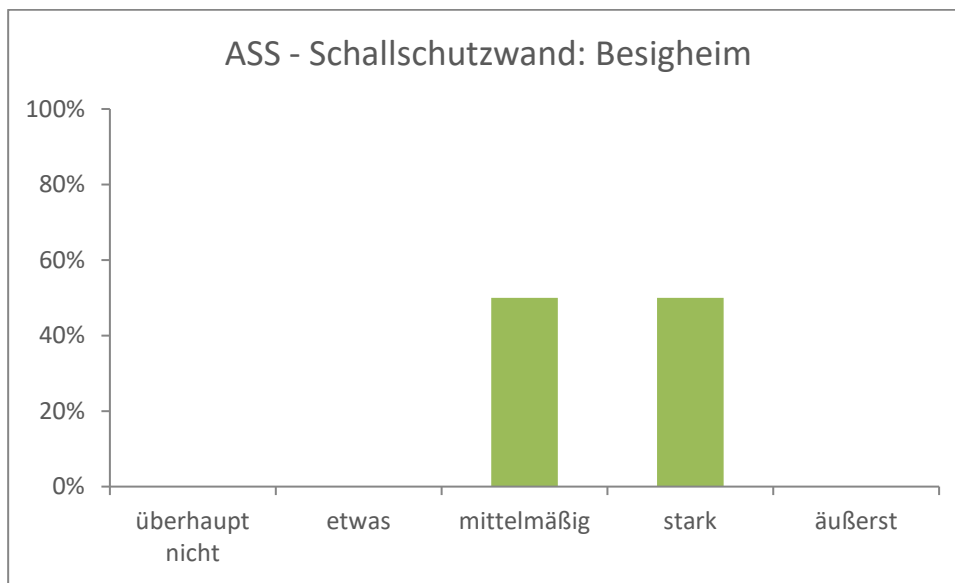


Abbildung 110: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm im Wohngebiet insgesamt in den letzten 12 Monaten in Besigheim (N = 4)

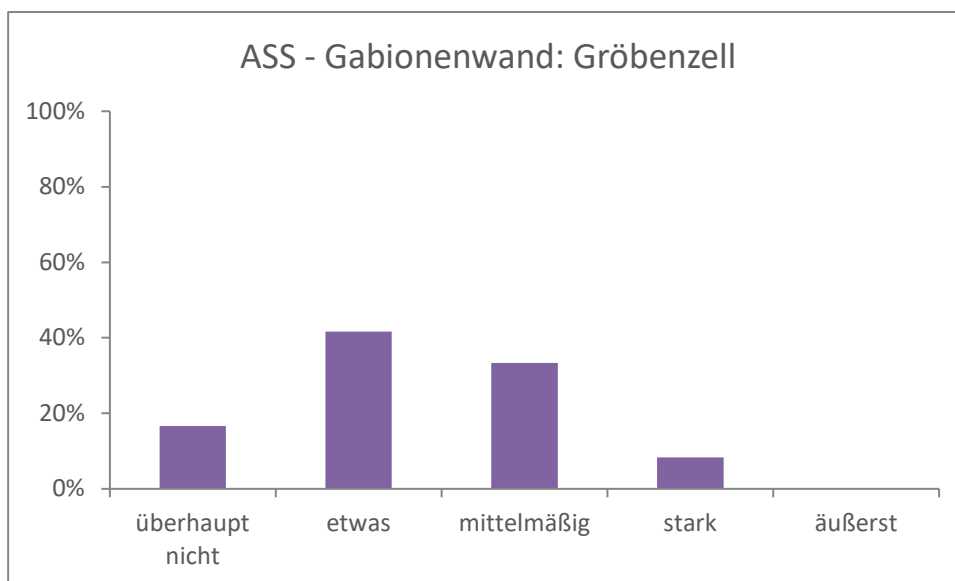


Abbildung 111: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm im Wohngebiet insgesamt in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell (N = 12)

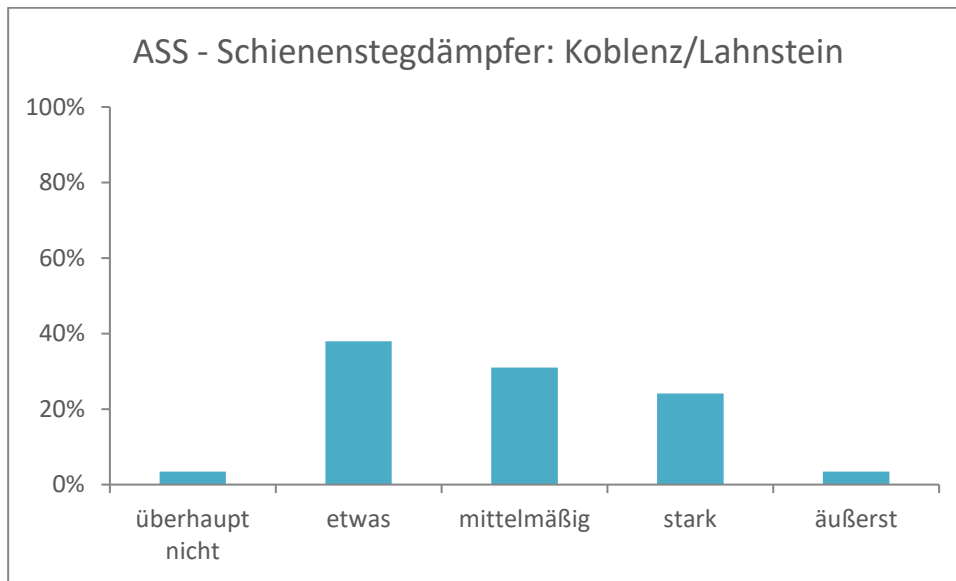


Abbildung 112: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm im Wohngebiet insgesamt in den letzten 12 Monaten in Koblenz-Lahnstein (N = 29)

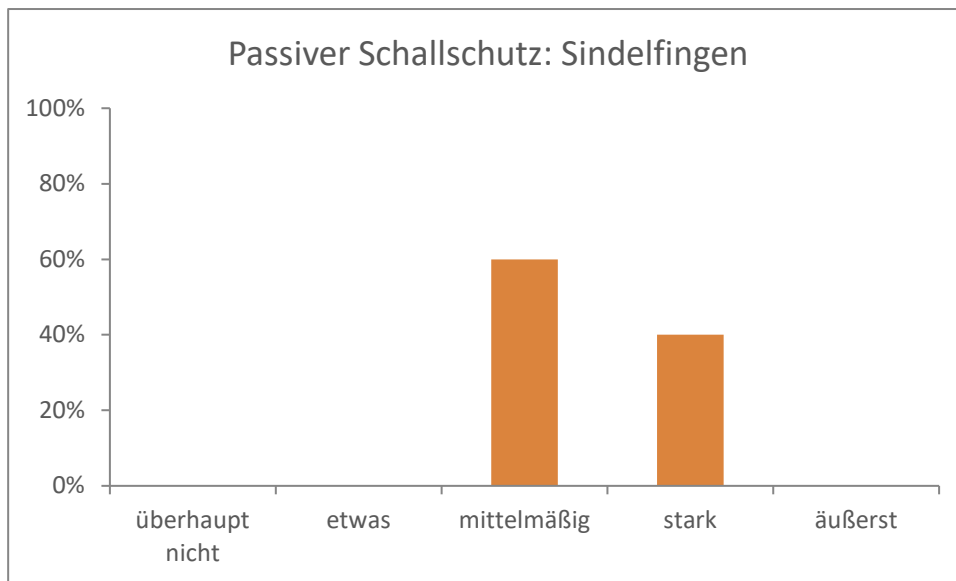


Abbildung 113: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm im Wohngebiet insgesamt in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen (N = 5)



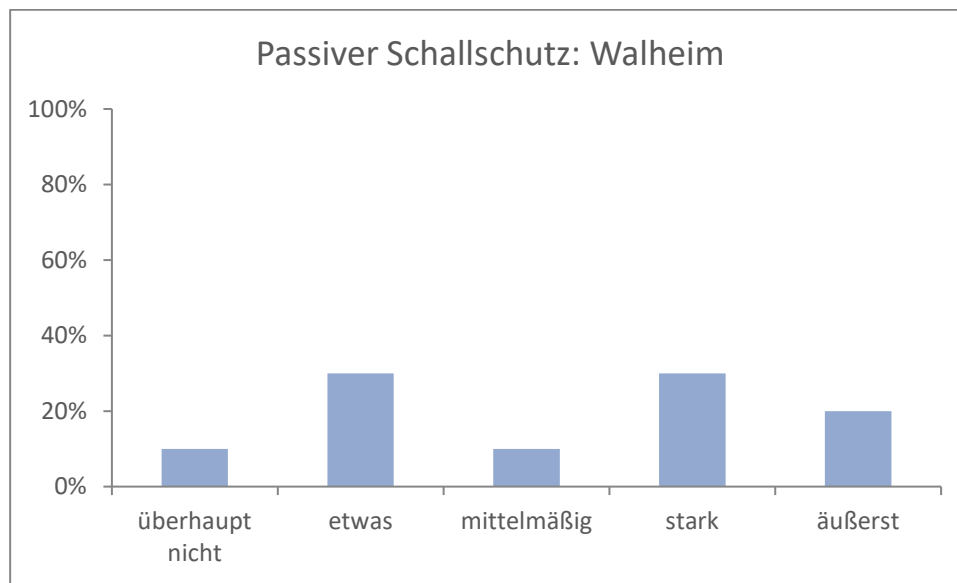


Abbildung 114: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm im Wohngebiet insgesamt in den letzten 12 Monaten in Walheim (N = 10)

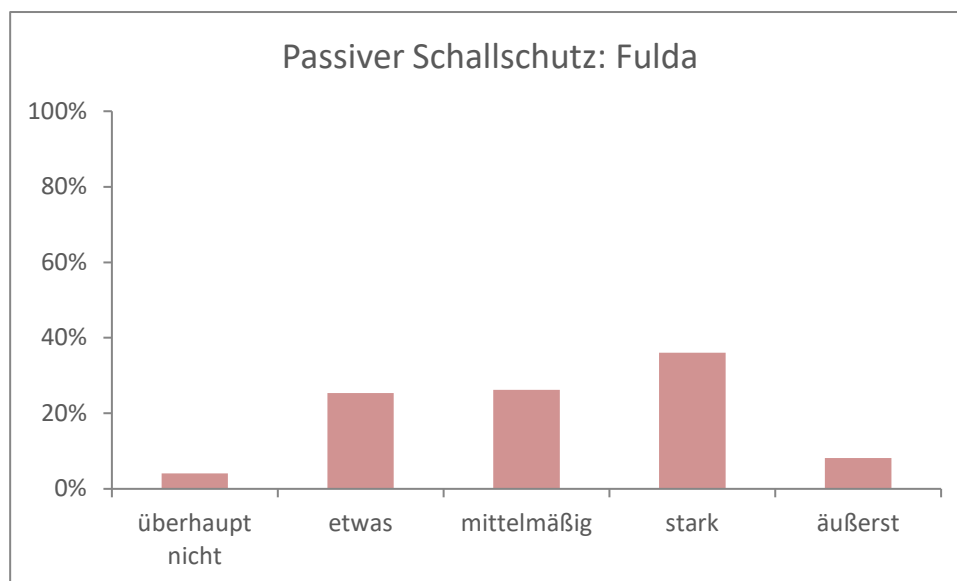


Abbildung 115: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm im Wohngebiet insgesamt in den letzten 12 Monaten in Fulda (N = 122)

**Belästigung durch Straßenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten**

Abbildung 116 bis Abbildung 123 zeigen für die Untersuchungsgebiete die Häufigkeit der einzelnen Antworten für die Frage nach der Belästigung durch Straßenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten. Beantwortet wird die Belästigungsfrage auf einer Skala von (1) *überhaupt nicht belästigt* bis (5) *äußerst belästigt*.

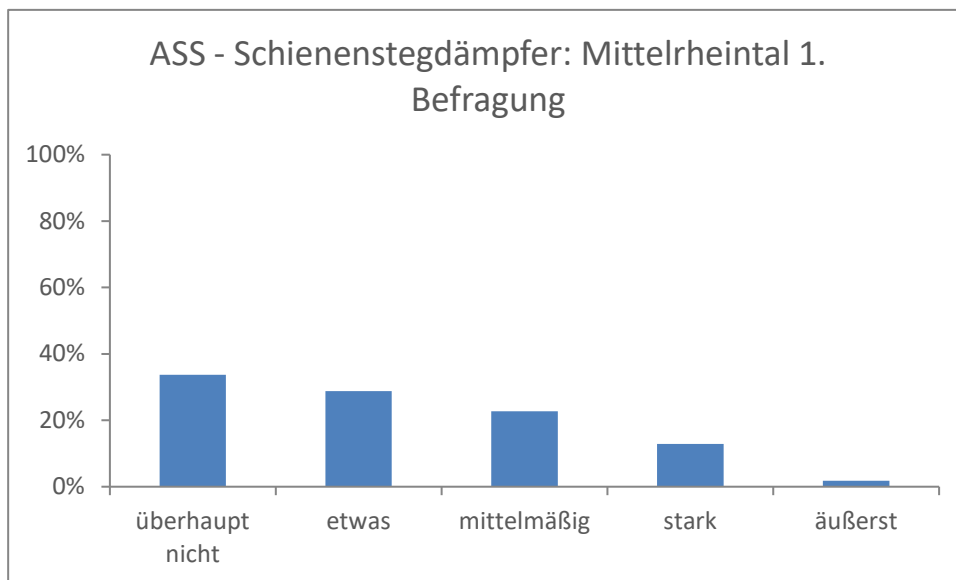


Abbildung 116: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) (N = 163)

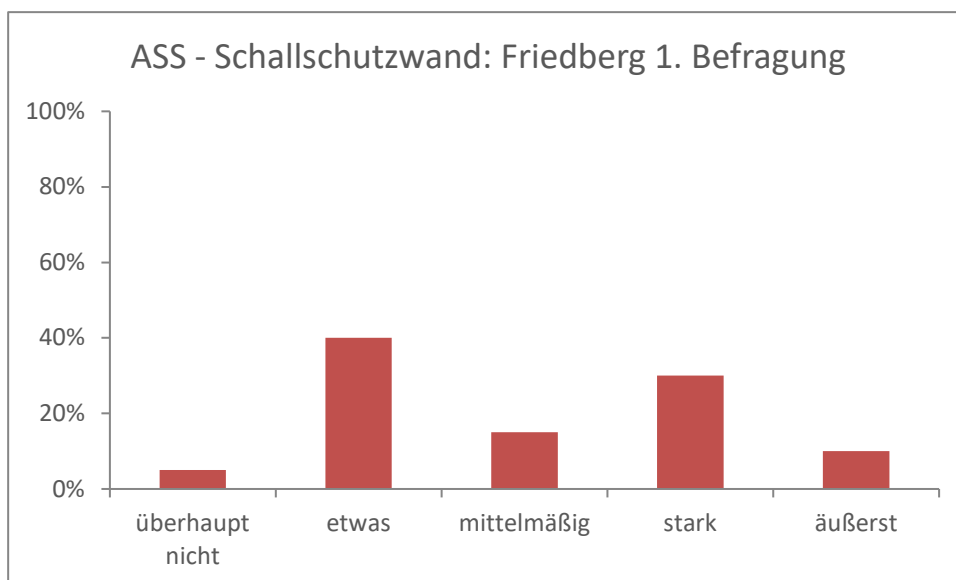


Abbildung 117: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung) (N = 20)

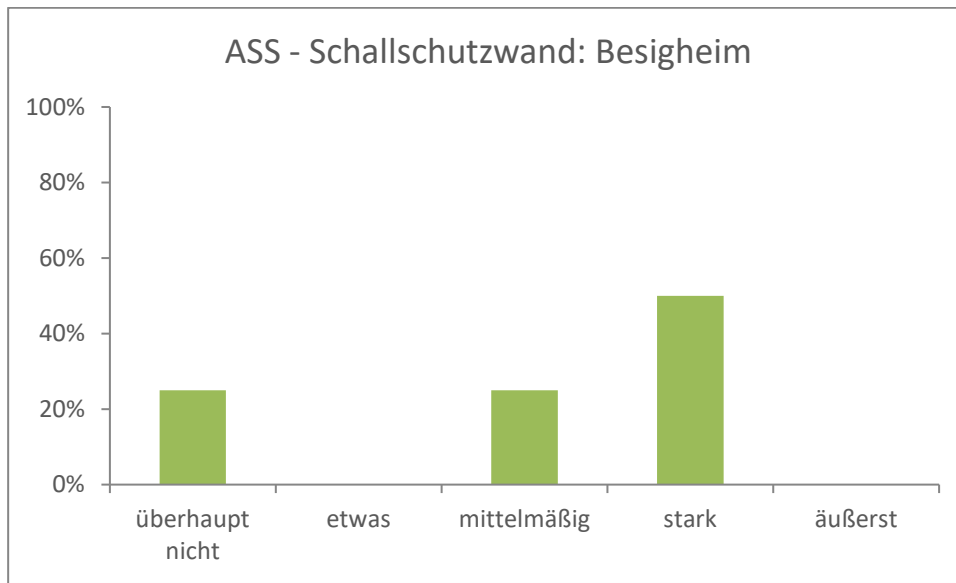


Abbildung 118: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßenverkehr insgesamt in den letzten 12 Monaten in Besigheim (N = 4)

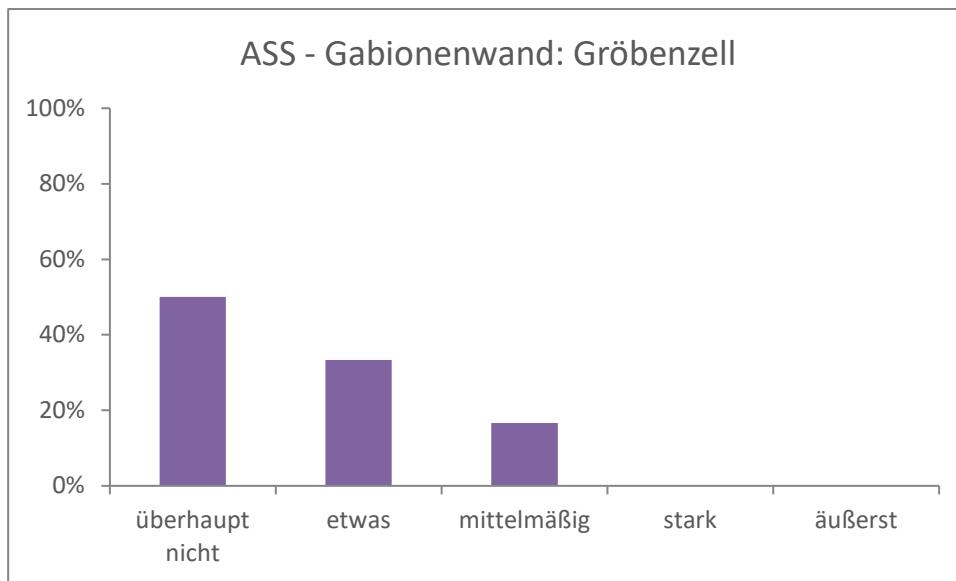


Abbildung 119: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßenverkehr insgesamt in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell (N = 12)

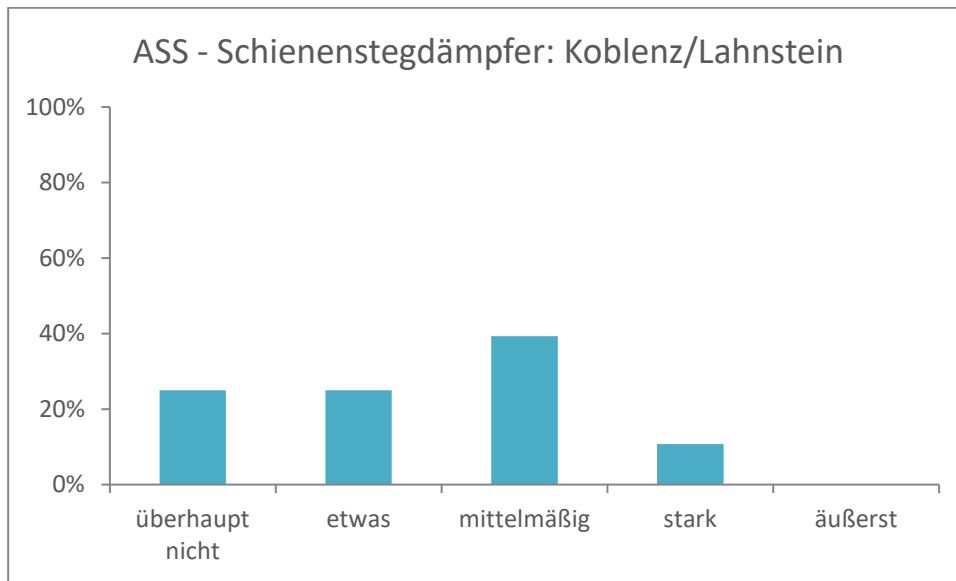


Abbildung 120: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßenverkehr insgesamt in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein (N = 28)

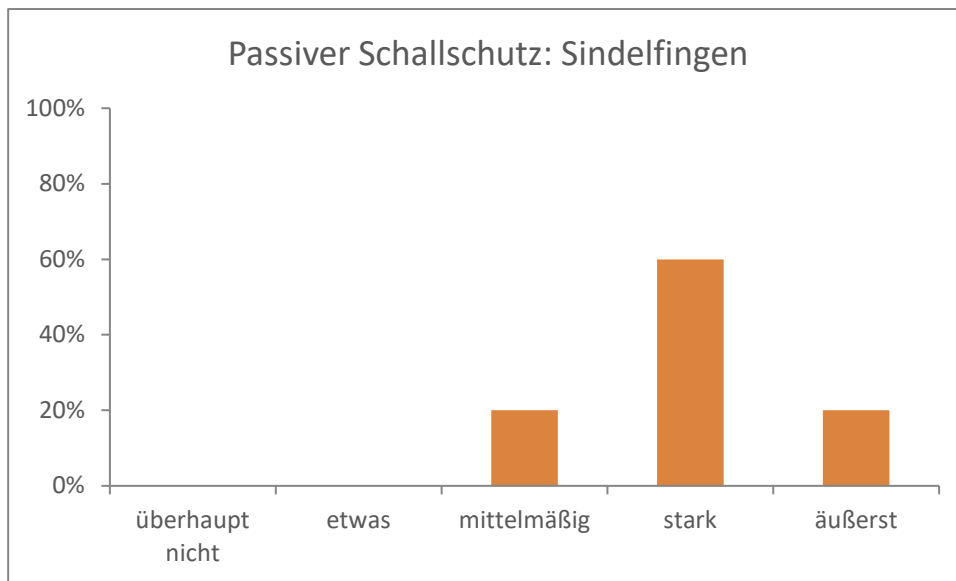


Abbildung 121: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßenverkehr insgesamt in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen (N = 5)

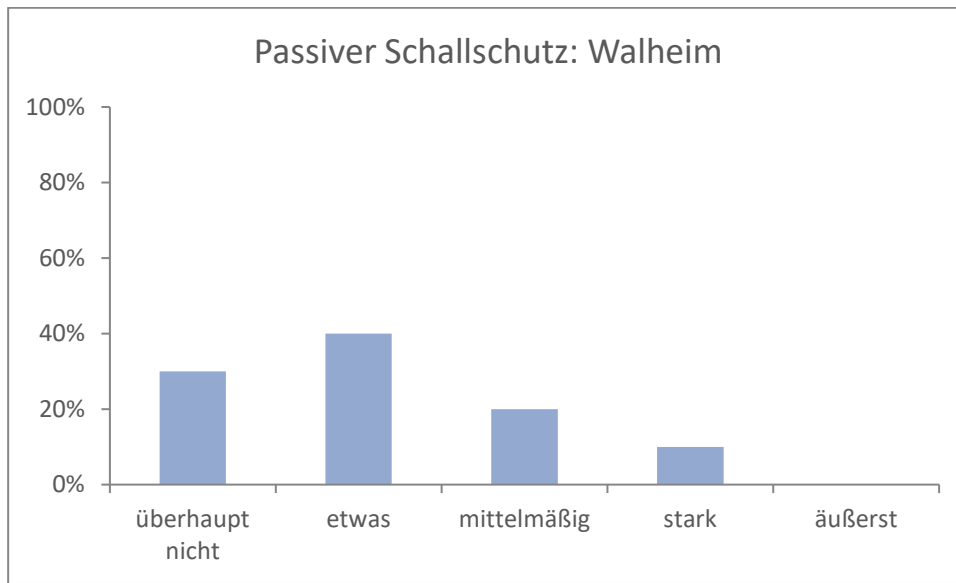


Abbildung 122: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßenverkehr insgesamt in den letzten 12 Monaten in Walheim (N = 10)

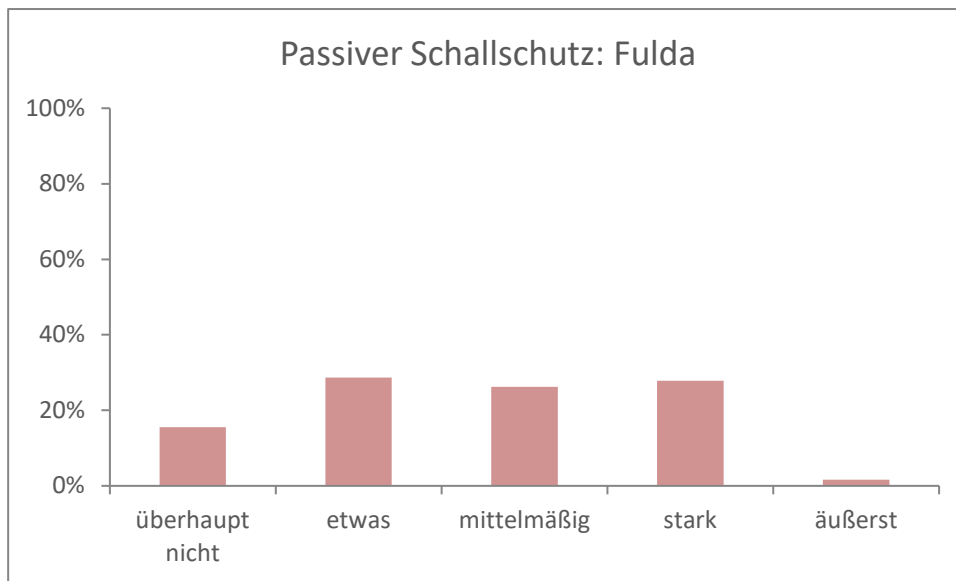


Abbildung 123: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßenverkehr insgesamt in den letzten 12 Monaten in Fulda (N = 122)

### Belästigung durch Lärm von LKWs in den letzten 12 Monaten

Abbildung 124 bis Abbildung 131 zeigen für die Untersuchungsgebiete die Häufigkeit der einzelnen Antworten für die Frage nach der Belästigung durch Lärm von LKWs in den letzten 12 Monaten. Beantwortet wird die Belästigungsfrage auf einer Skala von (1) *überhaupt nicht belästigt* bis (5) *äußerst belästigt*.

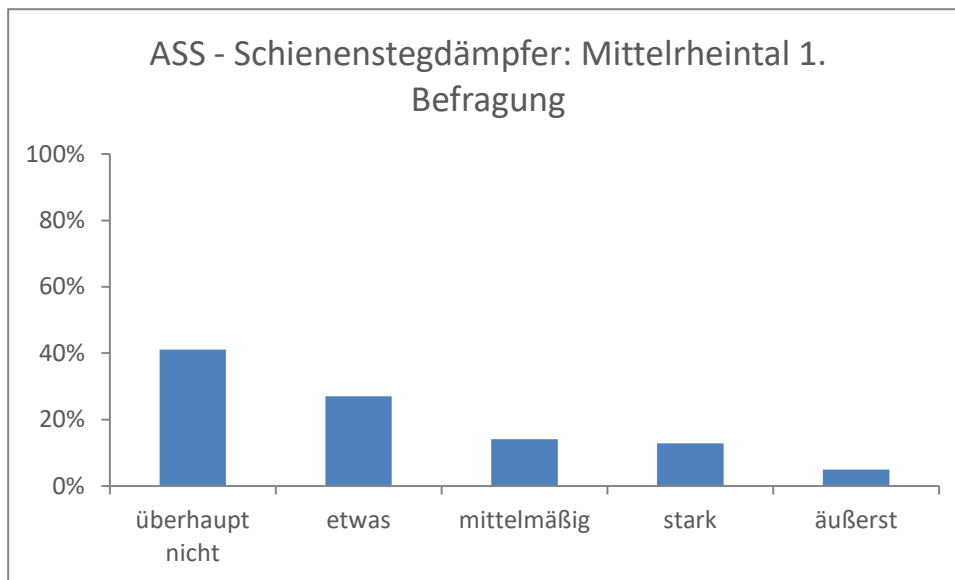


Abbildung 124: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch LKWs in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) (N = 163)

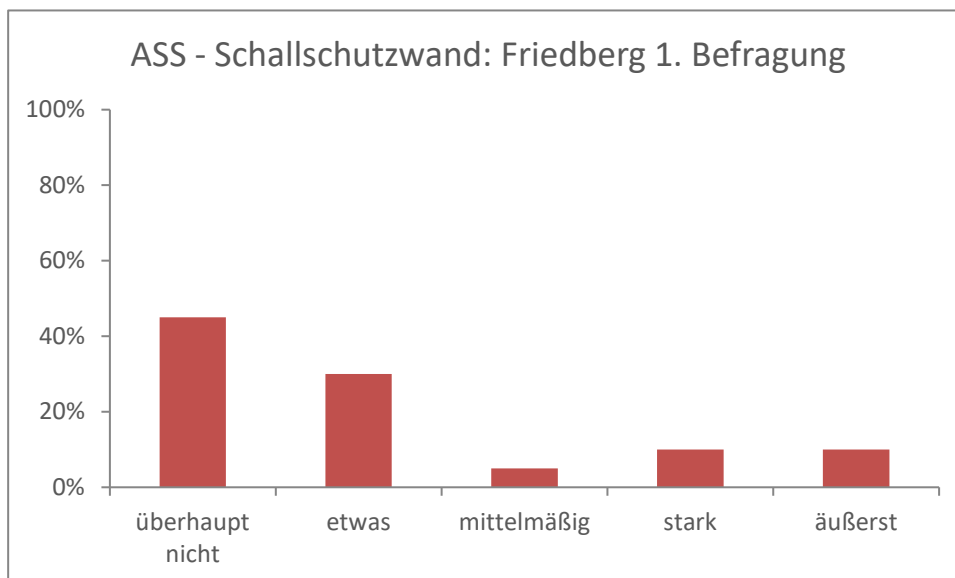


Abbildung 125: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch LKWs in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung) (N = 20)

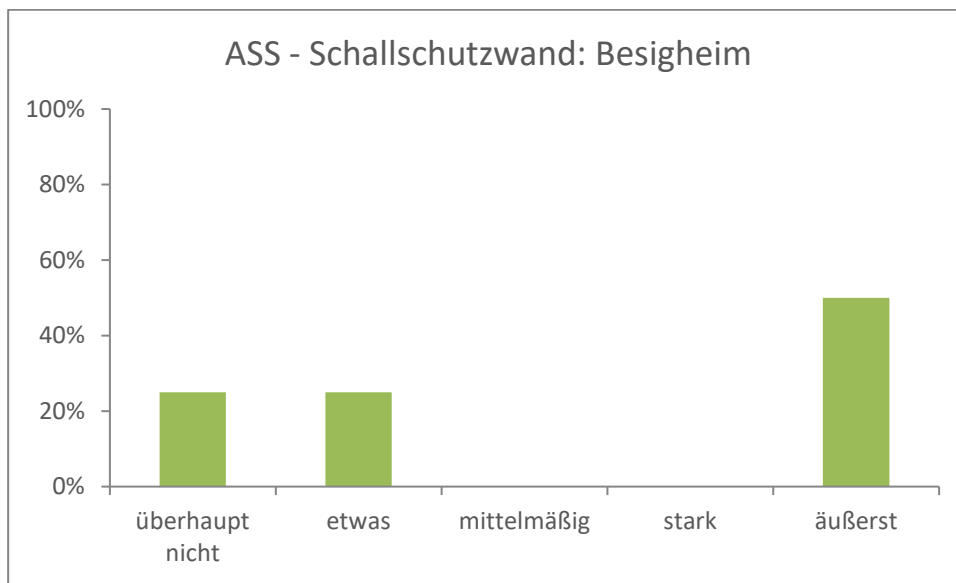


Abbildung 126: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch LKWs in den letzten 12 Monaten in Besigheim (N = 4)

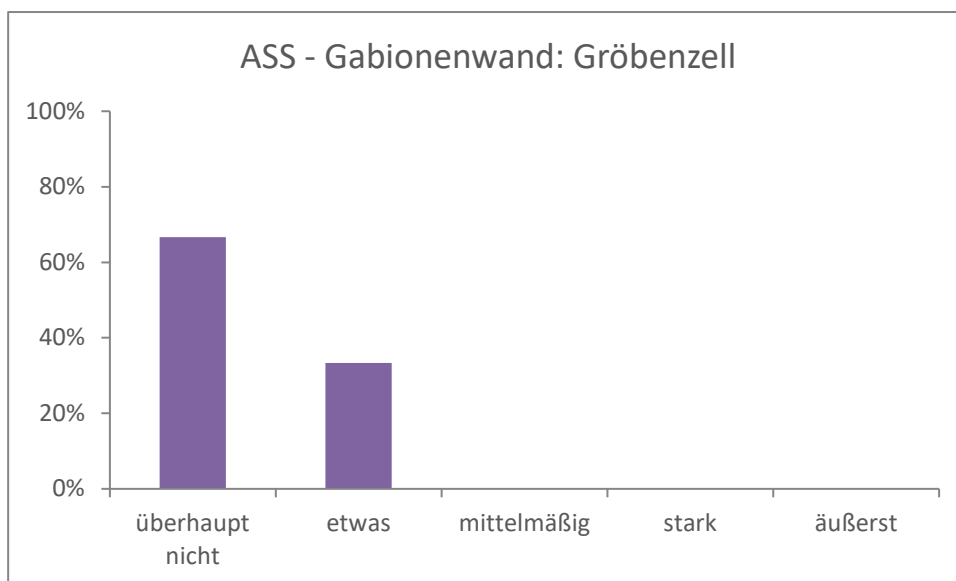


Abbildung 127: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch LKWs in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell (N = 12)

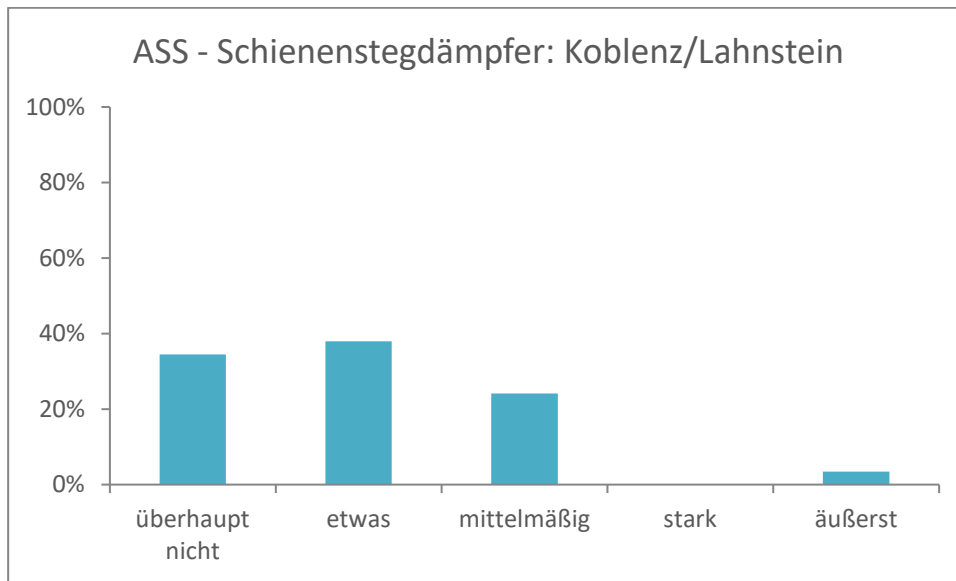


Abbildung 128: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch LKWs in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein (N = 29)

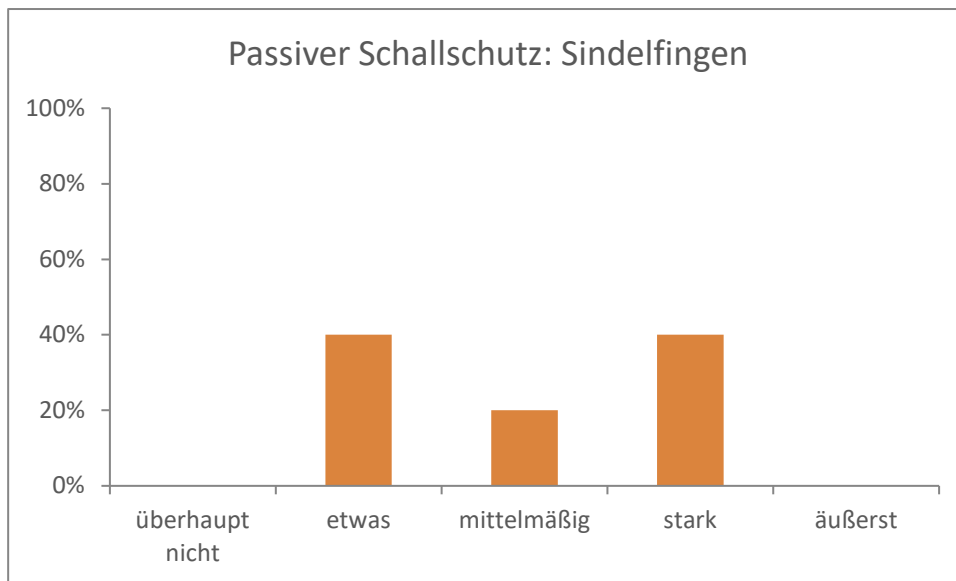


Abbildung 129: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch LKWs in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen (N = 5)



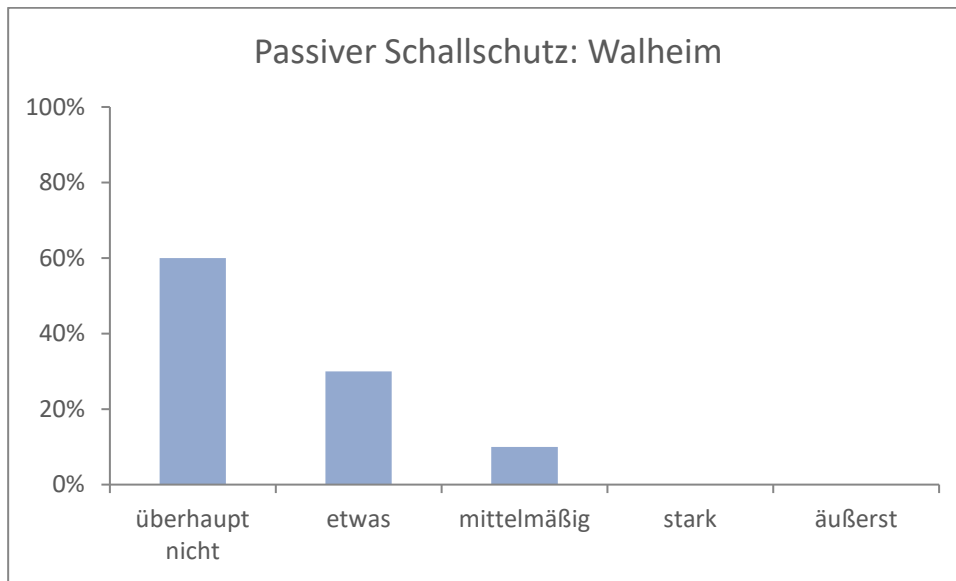


Abbildung 130: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch LKWs in den letzten 12 Monaten in Walheim (N = 10)

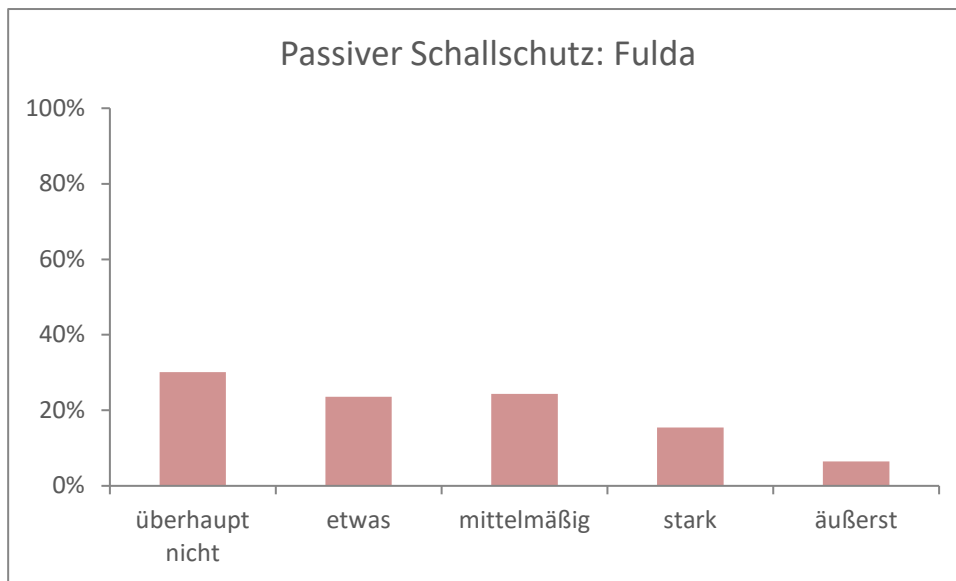


Abbildung 131: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch LKWs in den letzten 12 Monaten in Fulda (N = 123)

**Belästigung durch Lärm von PKWs in den letzten 12 Monaten**

Abbildung 132 bis Abbildung 139 zeigen für die Untersuchungsgebiete die Häufigkeit der einzelnen Antworten für die Frage nach der Belästigung durch Lärm von PKWs in den letzten 12 Monaten. Beantwortet wird die Belästigungsfrage auf einer Skala von (1) *überhaupt nicht belästigt* bis (5) *äußerst belästigt*.

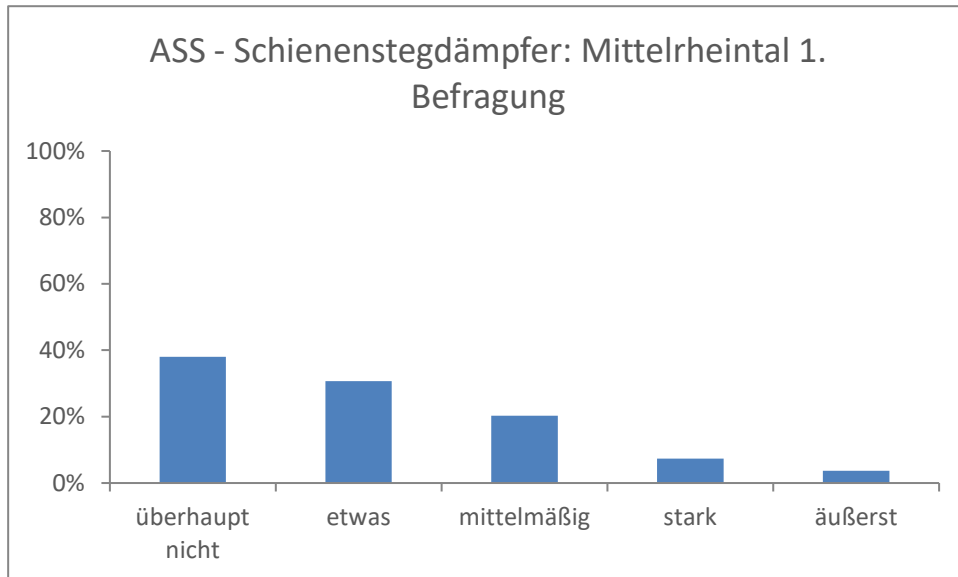


Abbildung 132: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch PKWs in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) (N = 163)

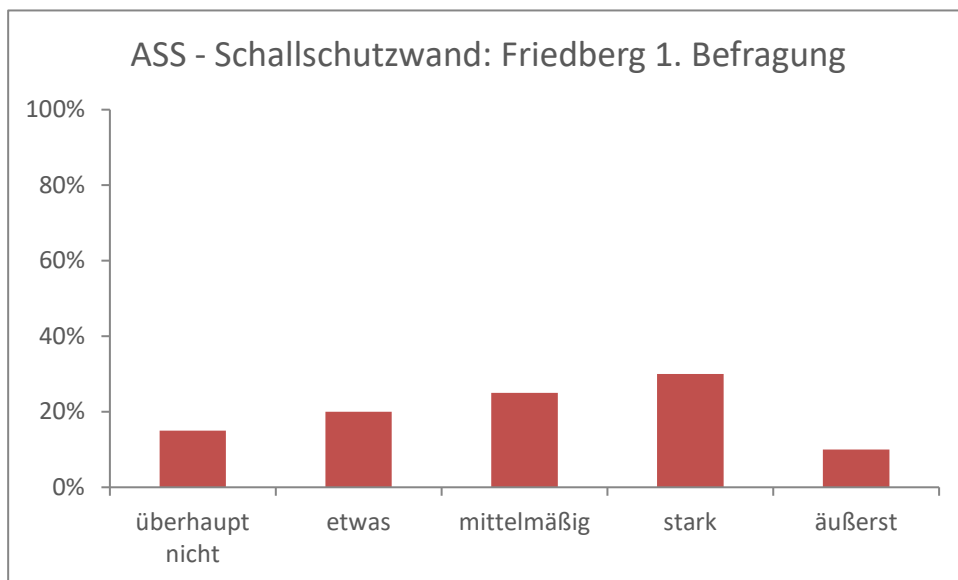


Abbildung 133: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch PKWs in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung) (N = 20)

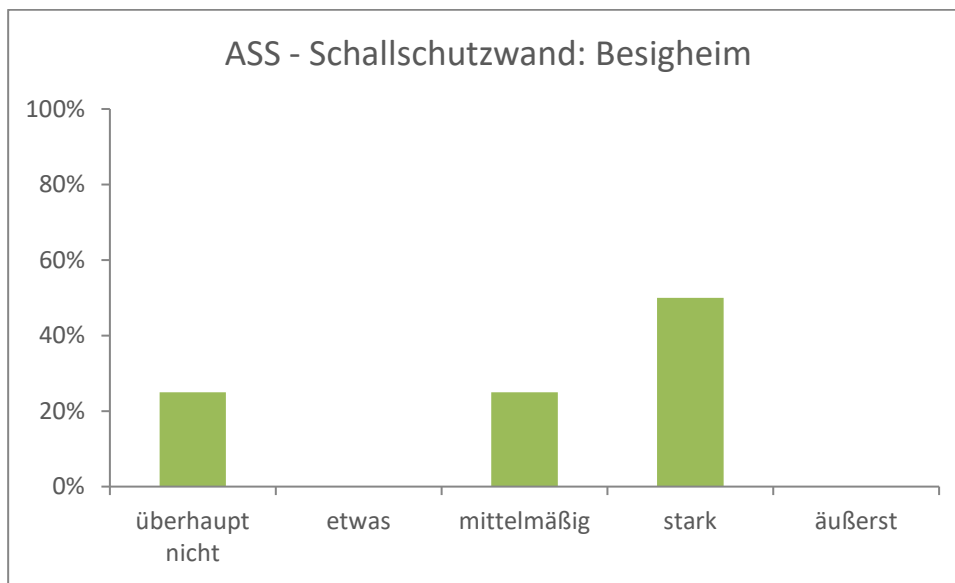


Abbildung 134: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch PKWs in den letzten 12 Monaten in Besigheim (N = 4)

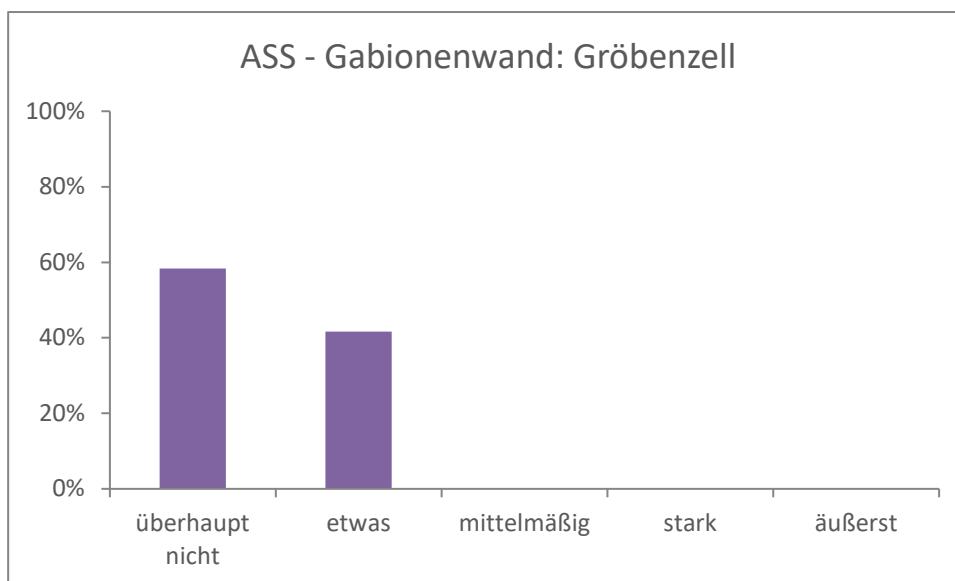


Abbildung 135: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch PKWs in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell (N = 12)

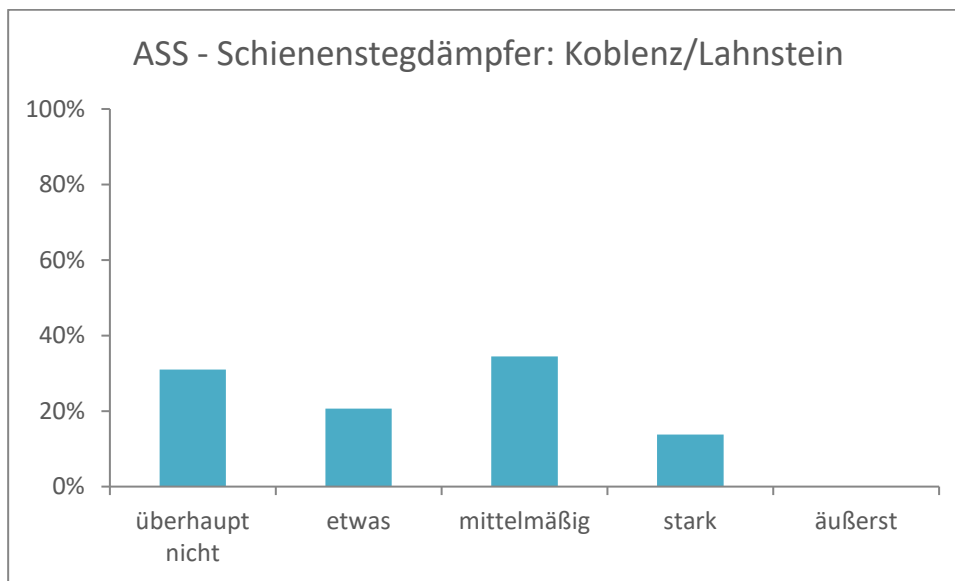


Abbildung 136: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch PKWs in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein (N = 29)

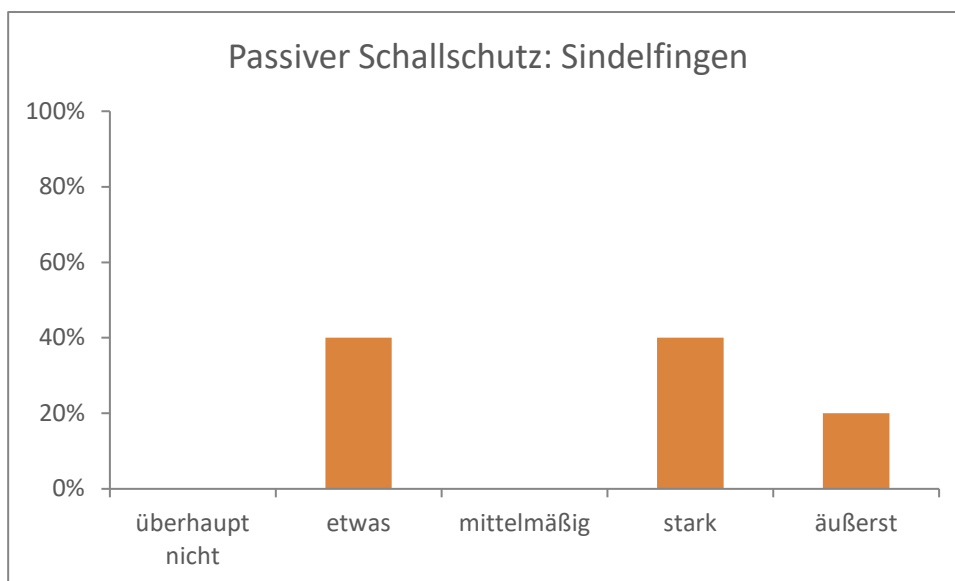


Abbildung 137: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch PKWs in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen (N = 5)

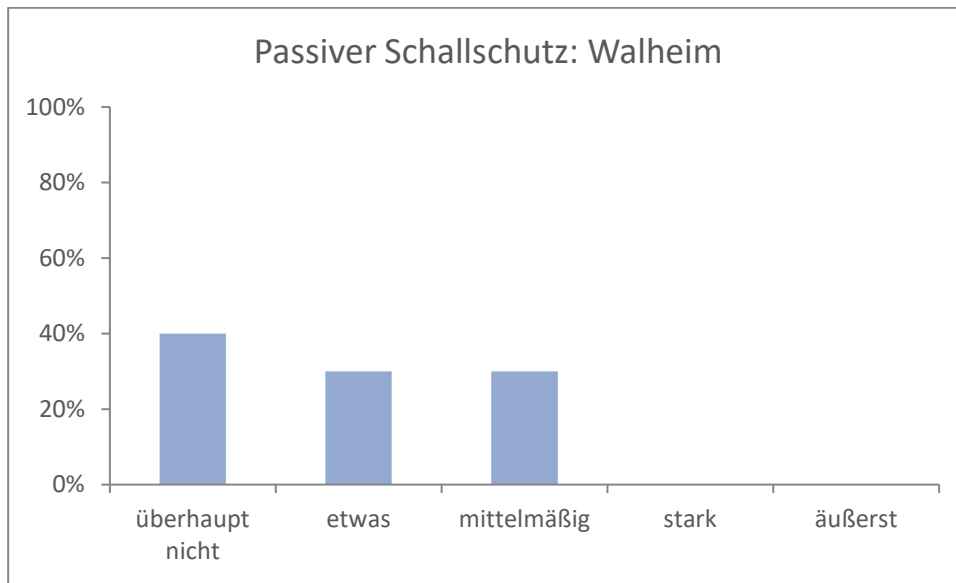


Abbildung 138: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch PKWs in den letzten 12 Monaten in Walheim (N = 10)

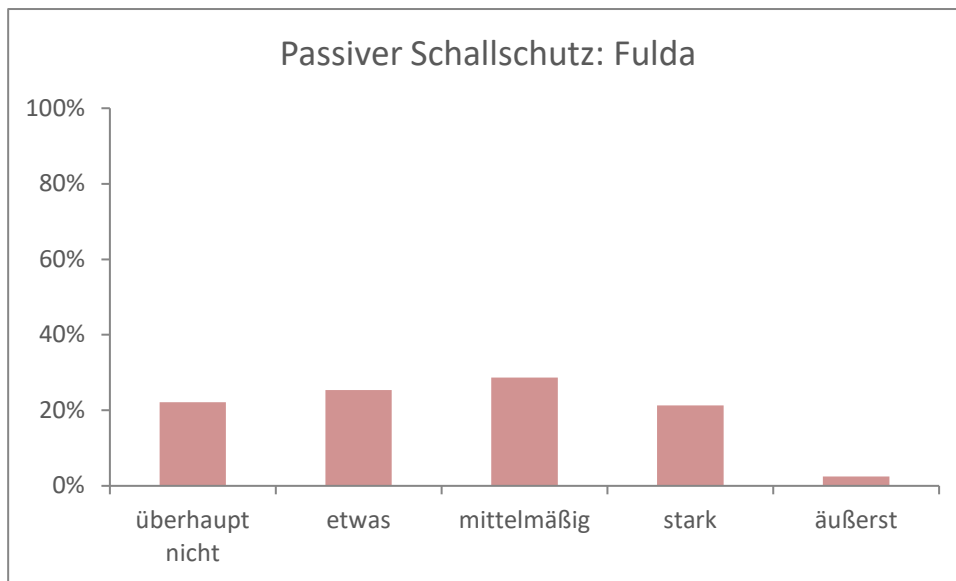


Abbildung 139: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch PKWs in den letzten 12 Monaten in Fulda (N = 122)

### Belästigung durch Lärm von Motorrädern in den letzten 12 Monaten

Abbildung 140 bis Abbildung 147 zeigen für die Untersuchungsgebiete die Häufigkeit der einzelnen Antworten für die Frage nach der Belästigung durch Lärm von Motorrädern in den letzten 12 Monaten. Die Belästigungsfrage wird auf einer Skala von (1) *überhaupt nicht belästigt* bis (5) *äußerst belästigt* beantwortet.

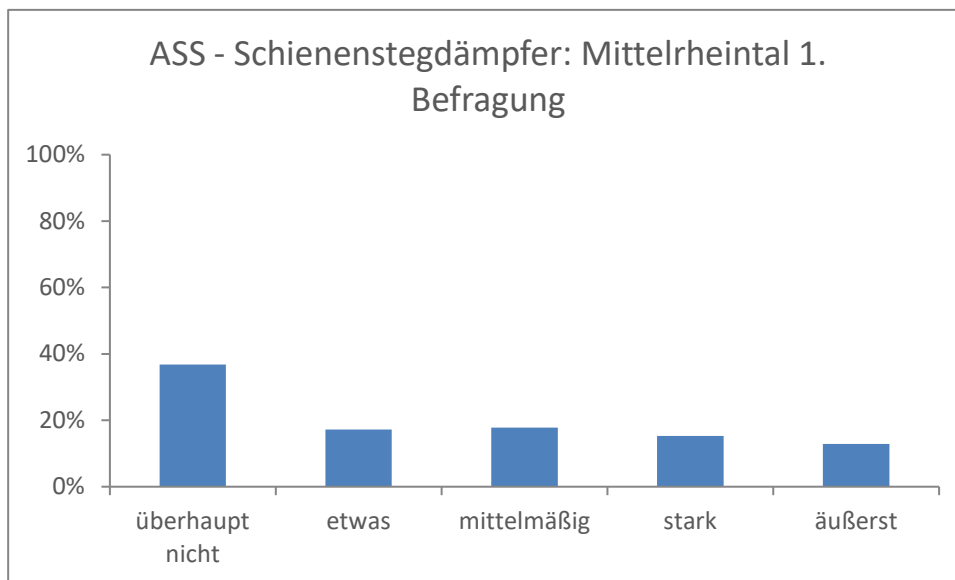


Abbildung 140: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Motorräder in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) (N = 163)

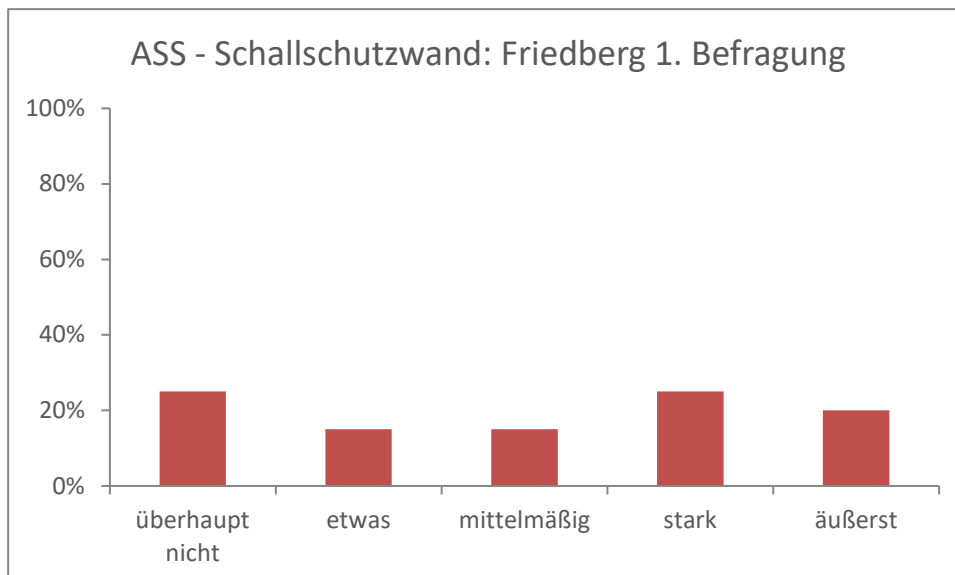


Abbildung 141: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Motorräder in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung) (N = 20)

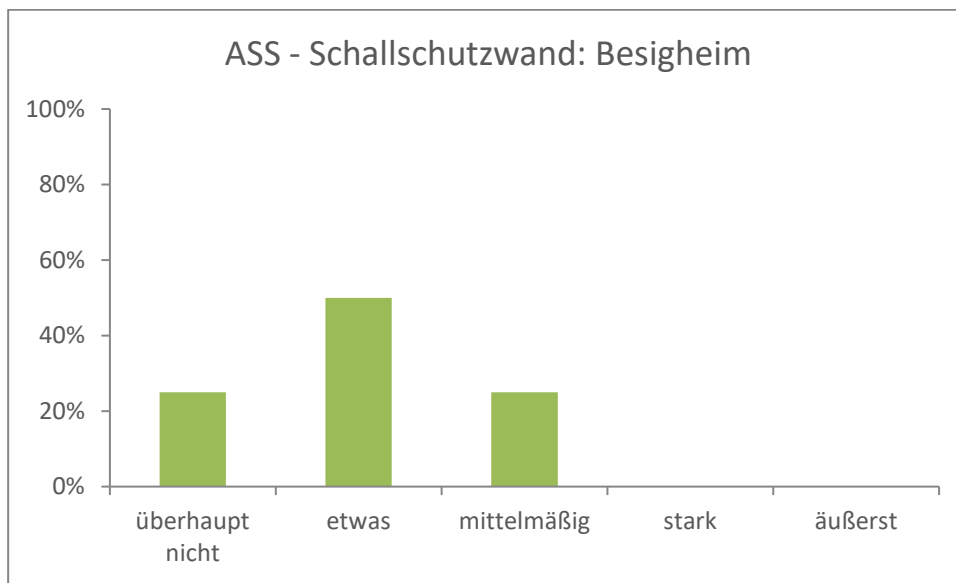


Abbildung 142: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Motorräder in den letzten 12 Monaten in Besigheim (N = 4)

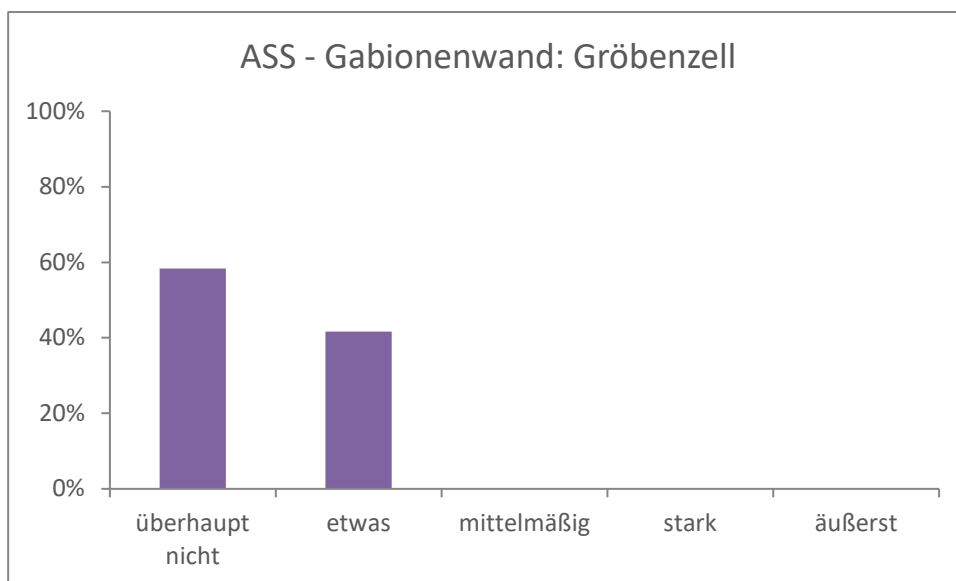


Abbildung 143: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Motorräder in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell (N = 12)

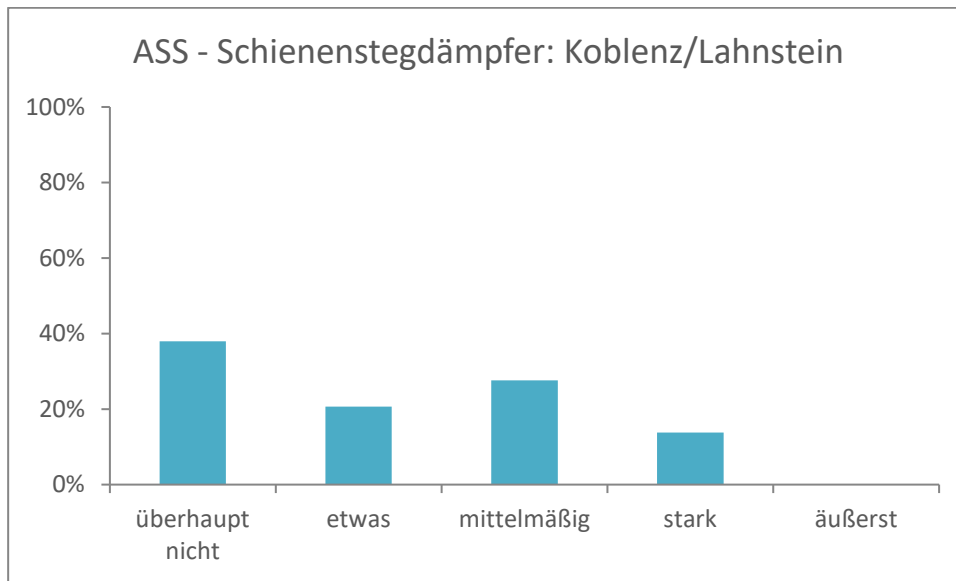


Abbildung 144: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Motorräder in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein (N = 29)

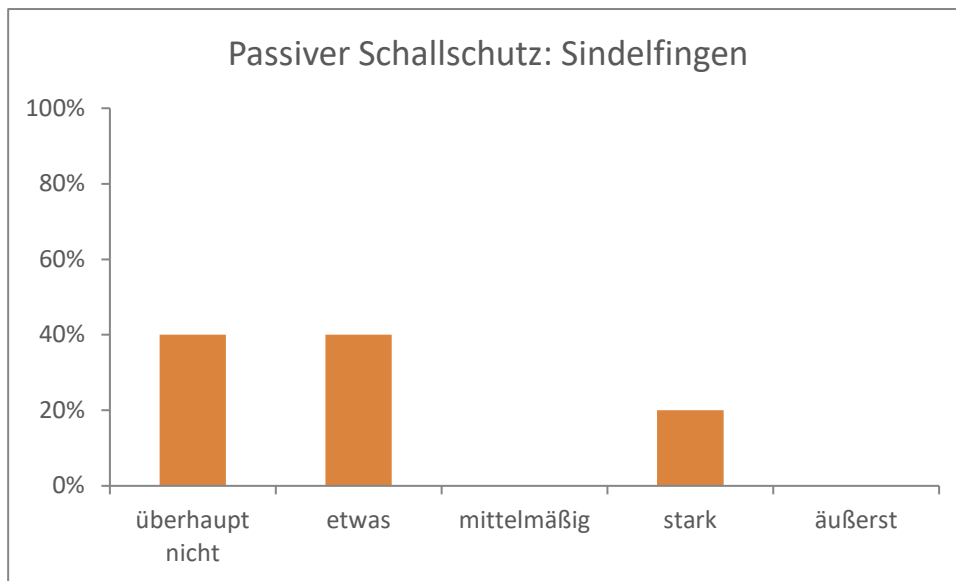


Abbildung 145: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Motorräder in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen (N = 5)



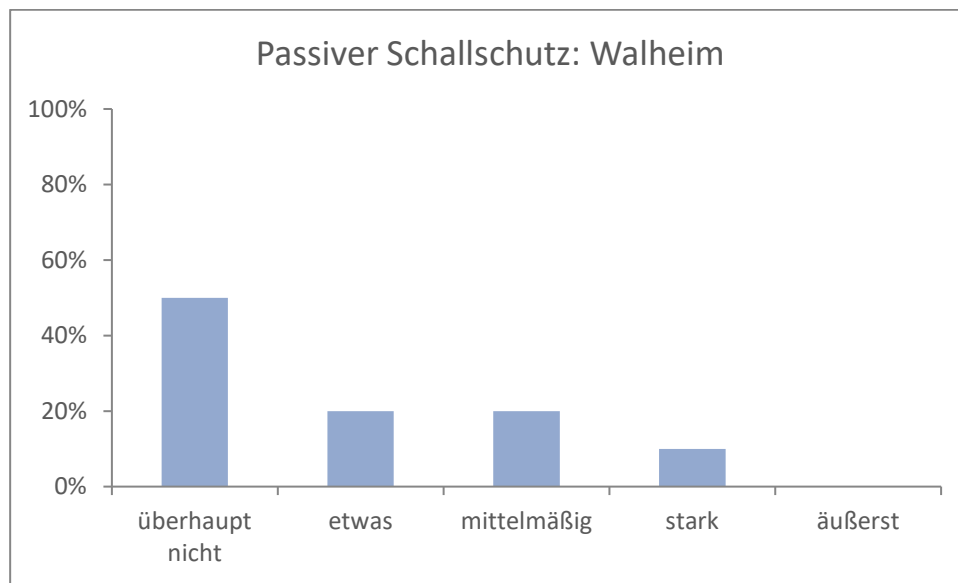


Abbildung 146: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Motorräder in den letzten 12 Monaten in Walheim (N = 10)

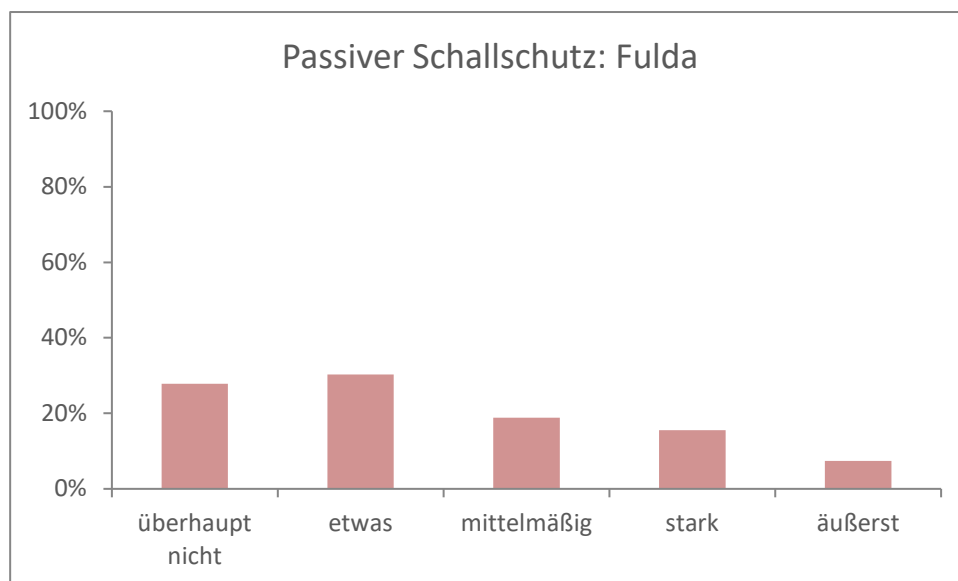


Abbildung 147: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Motorräder in den letzten 12 Monaten in Fulda (N = 122)

**Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten**

Abbildung 148 bis Abbildung 155 werden die Häufigkeiten der einzelnen Antwortmöglichkeiten für die Frage nach der Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten dargestellt. Die Belästigungsfrage wird auf einer Skala von (1) *überhaupt nicht belästigt* bis (5) *äußerst belästigt* beantwortet.

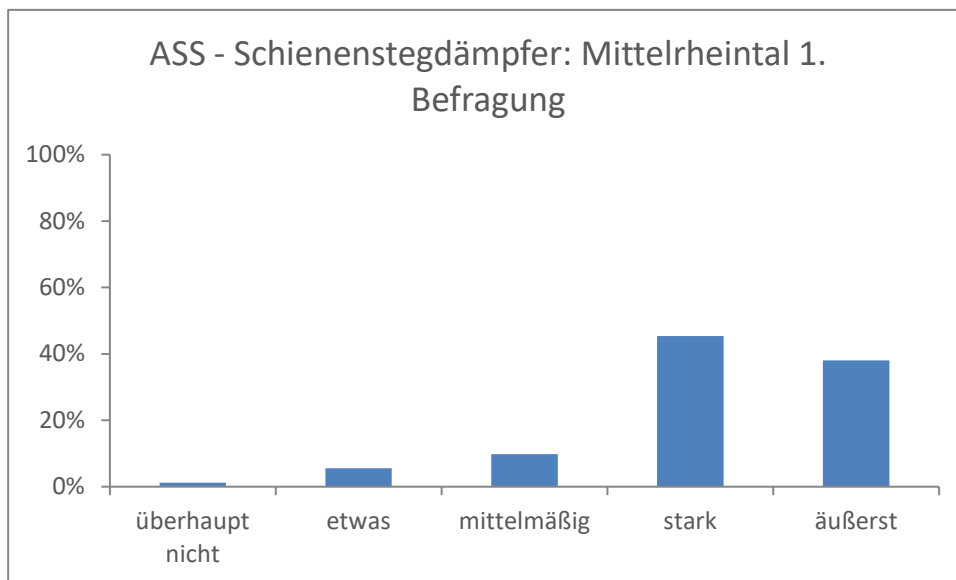


Abbildung 148: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) (N = 163)

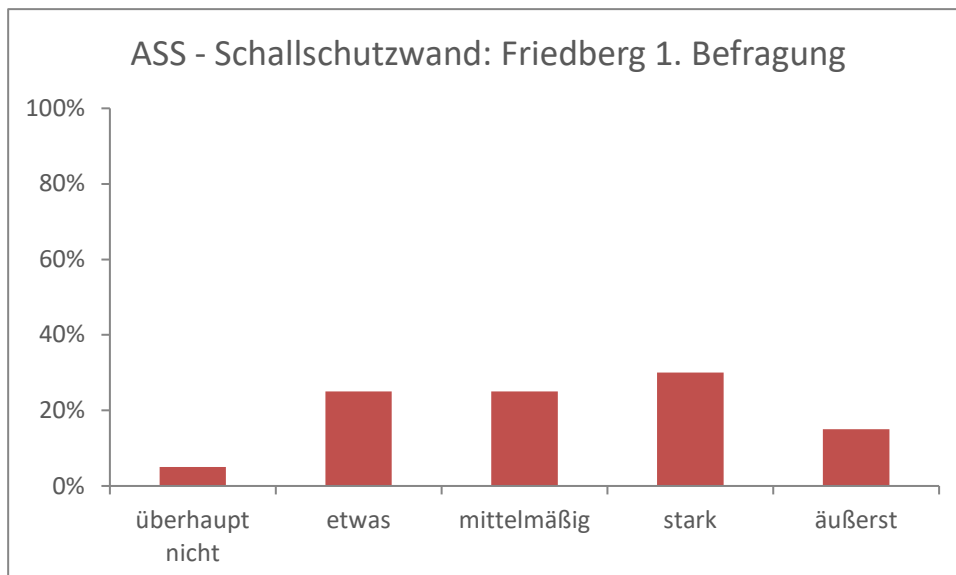


Abbildung 149: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung) (N = 20)

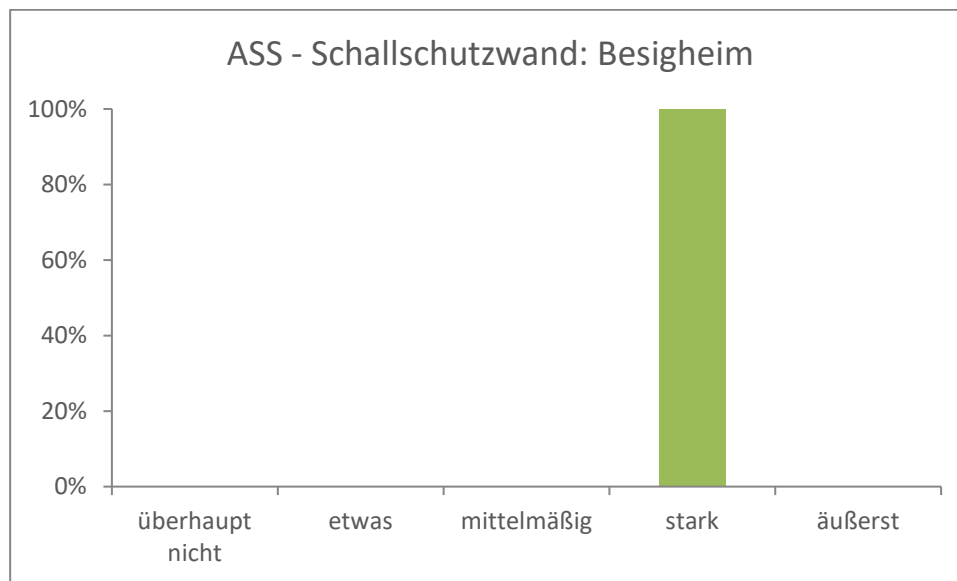


Abbildung 150: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten in Besigheim (N = 4)

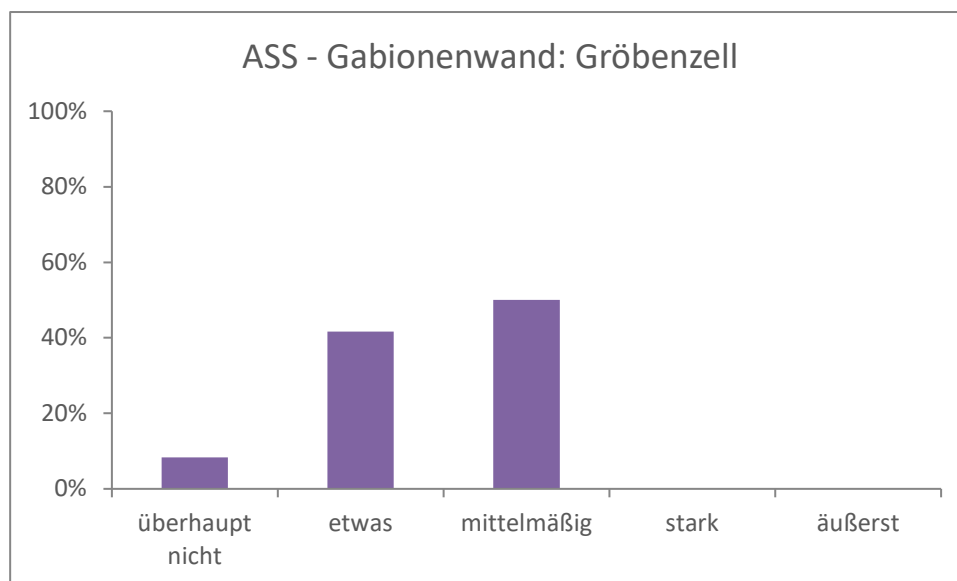


Abbildung 151: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell (N = 12)

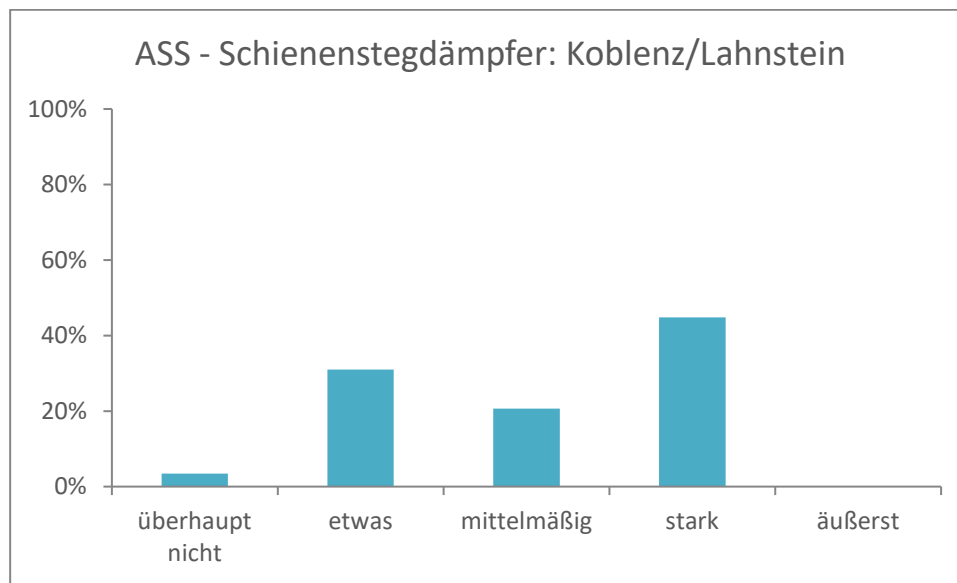


Abbildung 152: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein (N = 29)

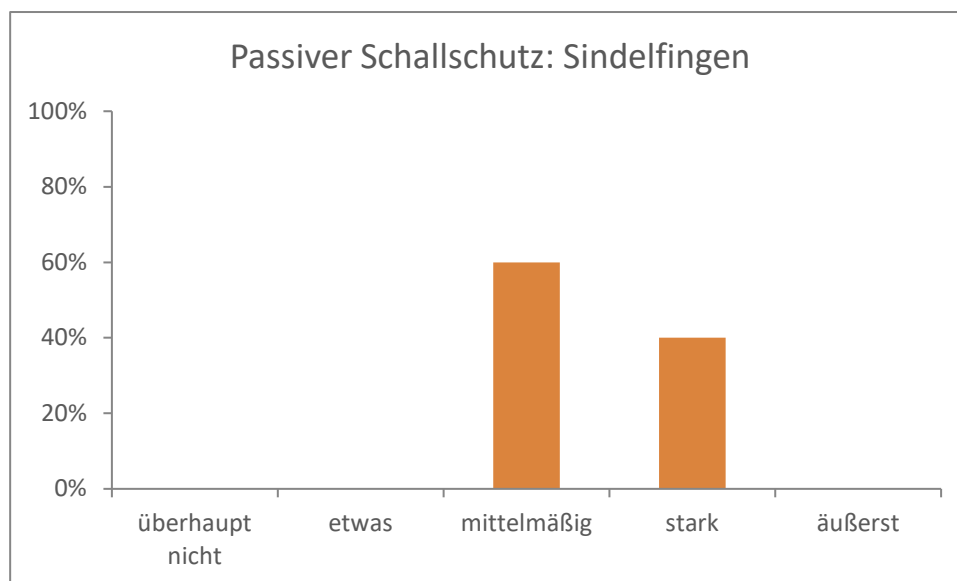


Abbildung 153: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen (N = 5)

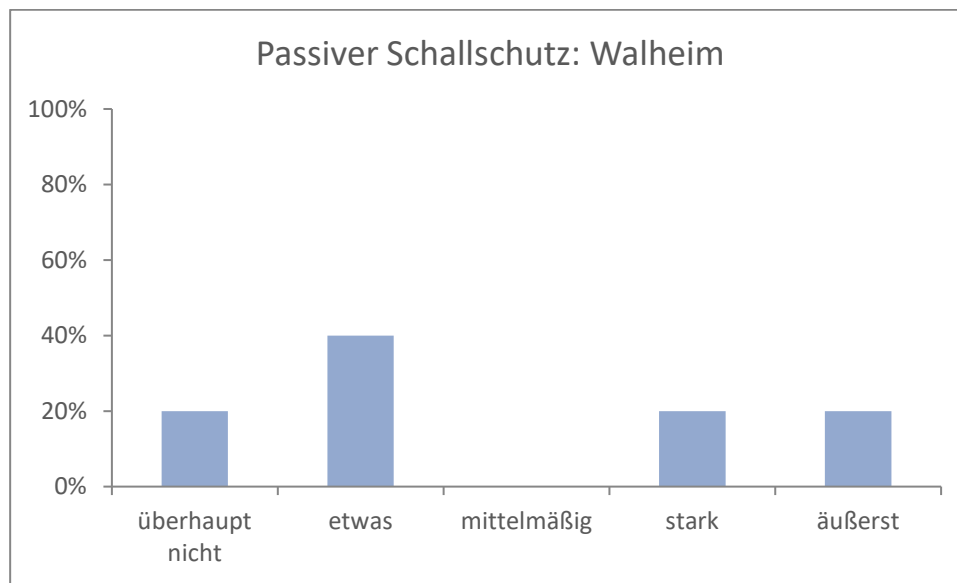


Abbildung 154: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten in Walheim (N = 10)

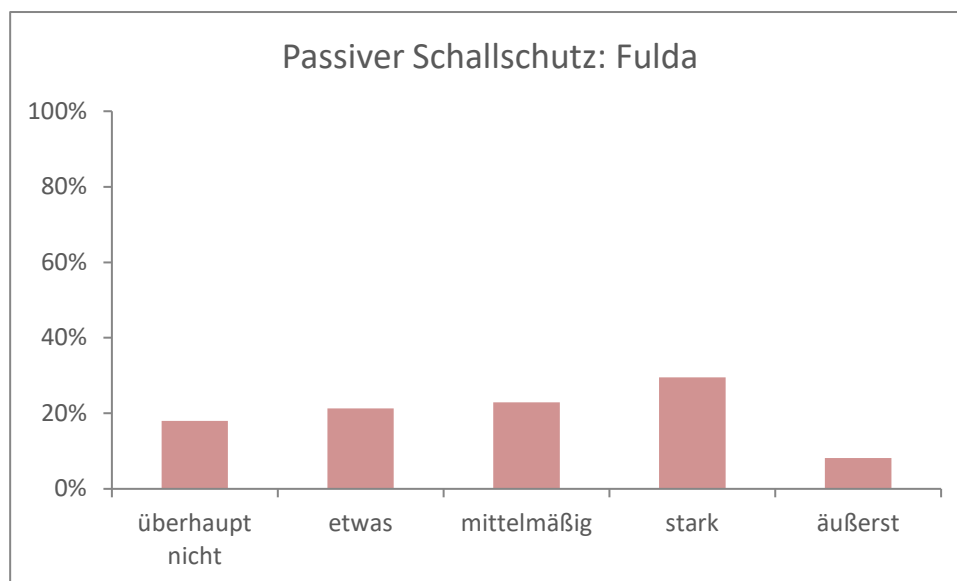


Abbildung 155: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Schienenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten in Fulda (N = 122)

### Belästigung durch Lärm von Güterzügen in den letzten 12 Monaten

Die Häufigkeiten der einzelnen Antworten pro Untersuchungsgebiet für die Frage nach der Belästigung durch Güterzüge in den letzten 12 Monaten wird in Abbildung 156 bis Abbildung 163 dargestellt. Die Belästigungsfrage wird auf einer Skala von (1) *überhaupt nicht belästigt* bis (5) *äußerst belästigt* beantwortet.

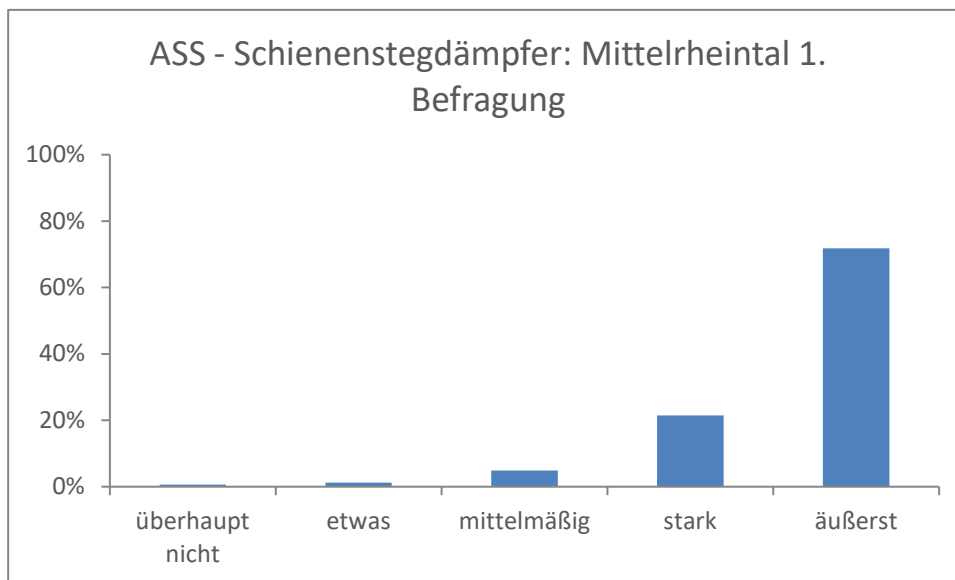


Abbildung 156: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Güterzüge in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) (N = 163)

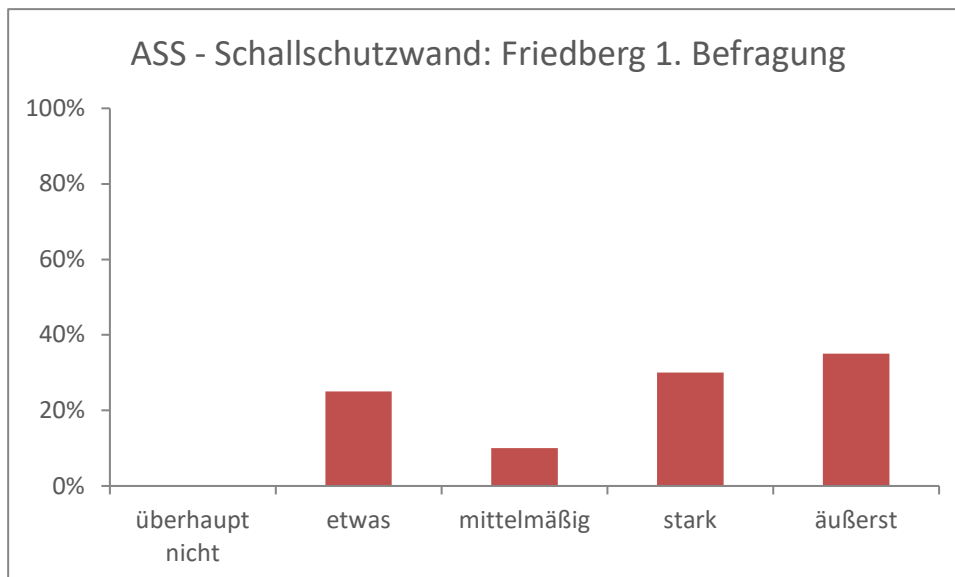


Abbildung 157: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Güterzüge in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung) (N = 20)

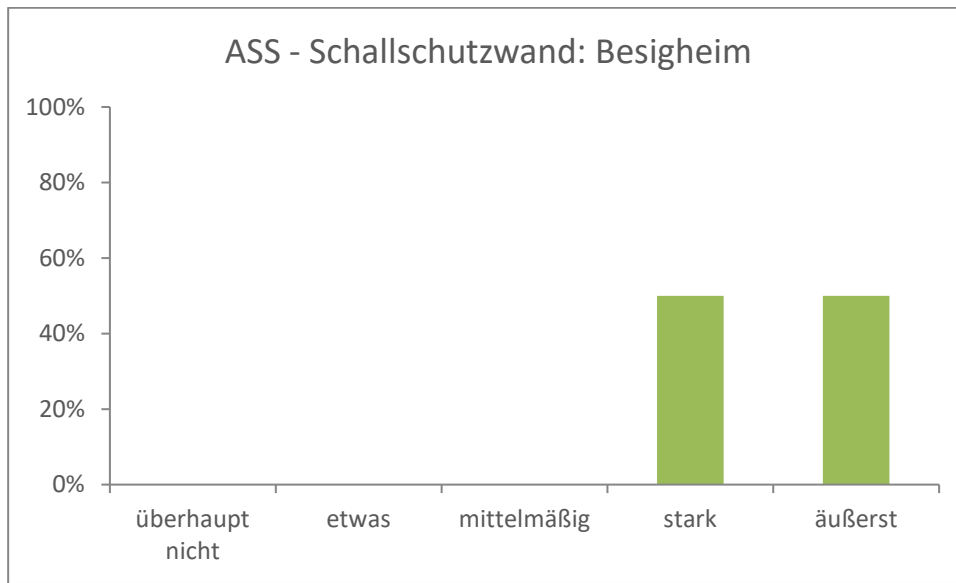


Abbildung 158: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Güterzüge in den letzten 12 Monaten in Besigheim (N = 4)

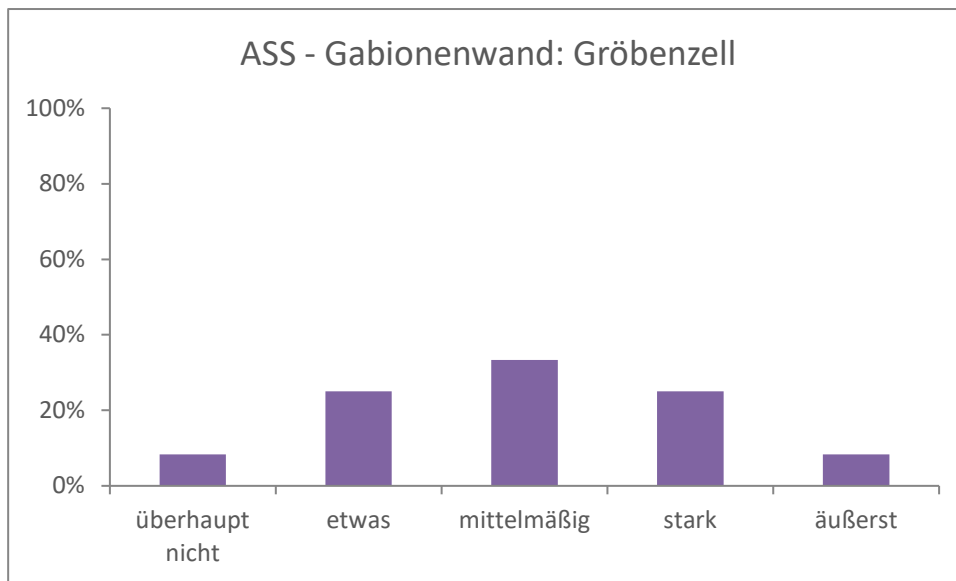


Abbildung 159: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Güterzüge in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell (N = 12)

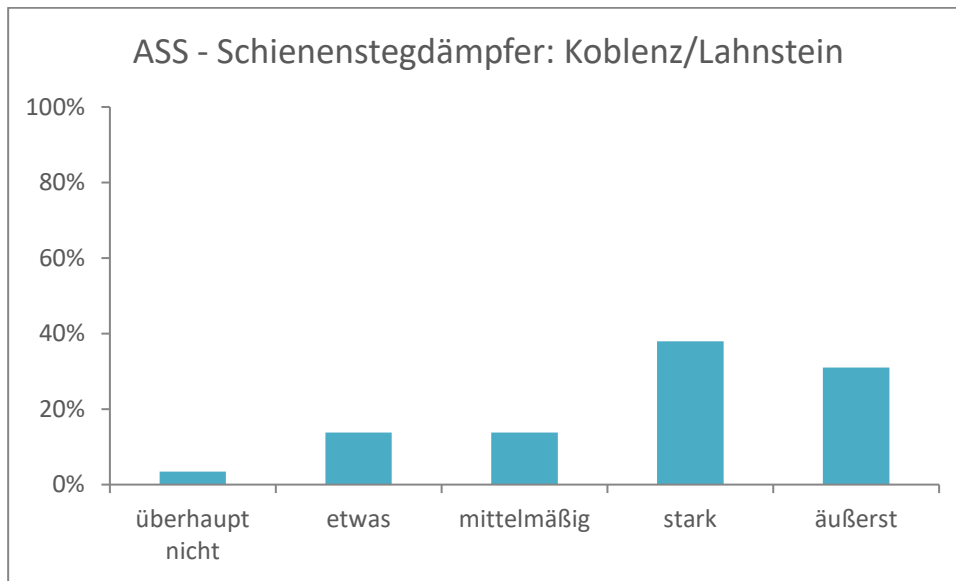


Abbildung 160: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Güterzüge in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein (N = 29)

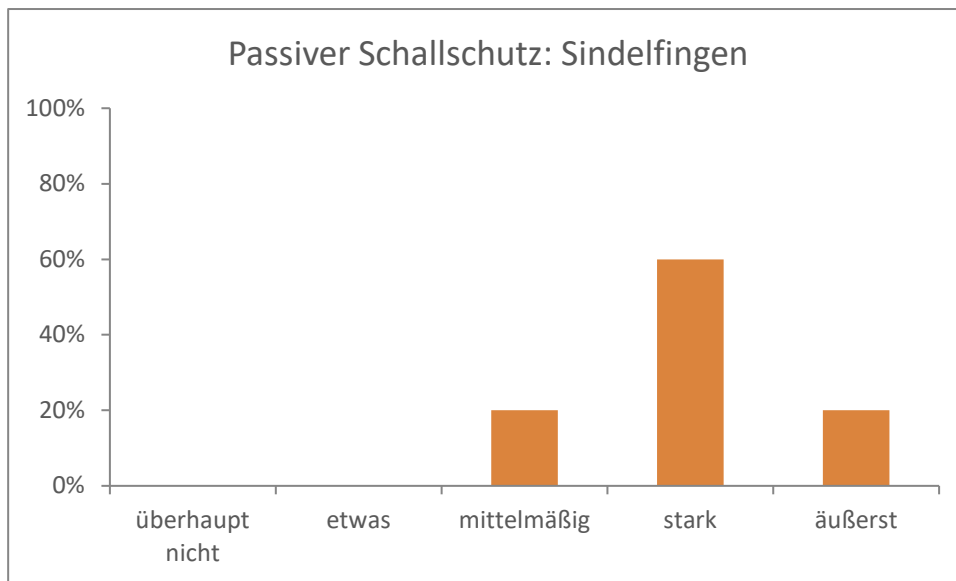


Abbildung 161: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Güterzüge in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen (N = 5)



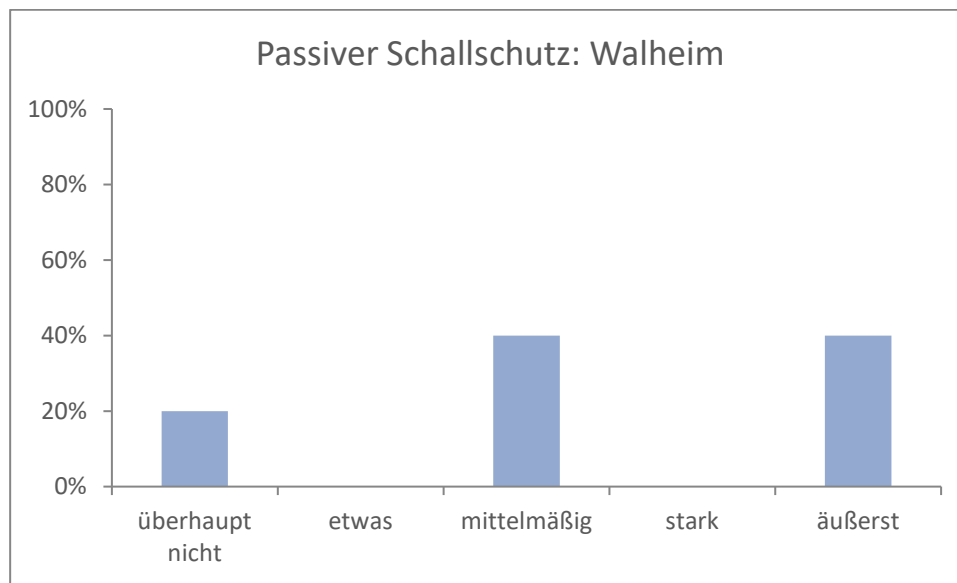


Abbildung 162: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Güterzüge in den letzten 12 Monaten in Walheim (N = 10)

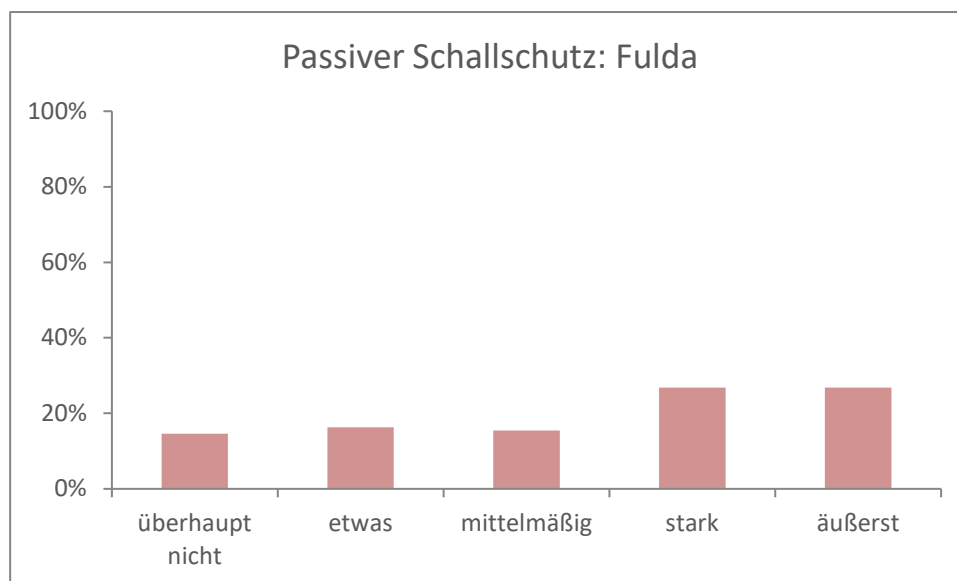


Abbildung 163: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Güterzüge in den letzten 12 Monaten in Fulda (N = 123)

**Belästigung durch Lärm von Personenzügen in den letzten 12 Monaten**

Abbildung 164 bis Abbildung 171 zeigen für die Untersuchungsgebiete die Häufigkeit der einzelnen Antworten für die Frage nach der Belästigung durch Personenzüge in den letzten 12 Monaten. Beantwortet wird die Belästigungsfrage auf einer Skala von (1) *überhaupt nicht belästigt* bis (5) *äußerst belästigt*.

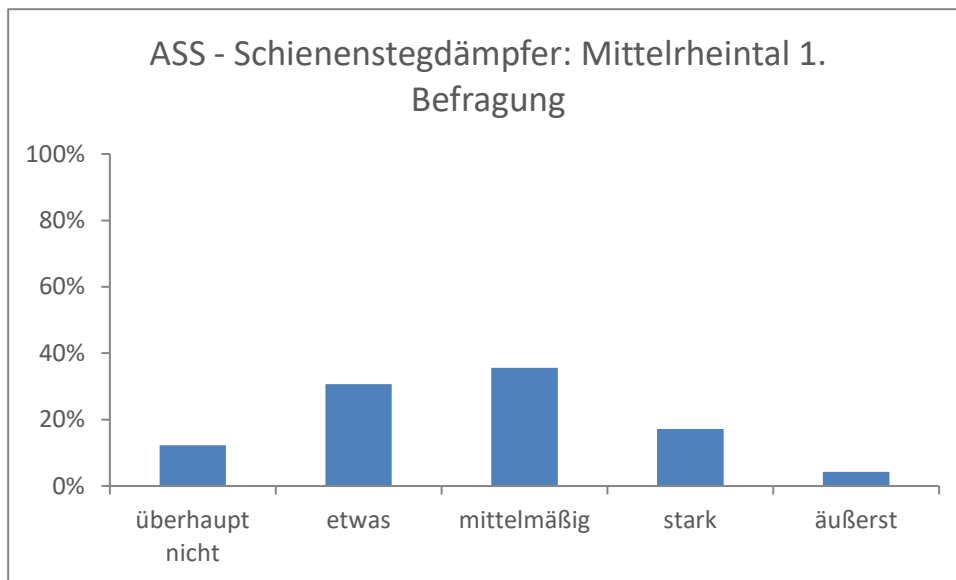


Abbildung 164: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Personenzüge in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) (N = 163)

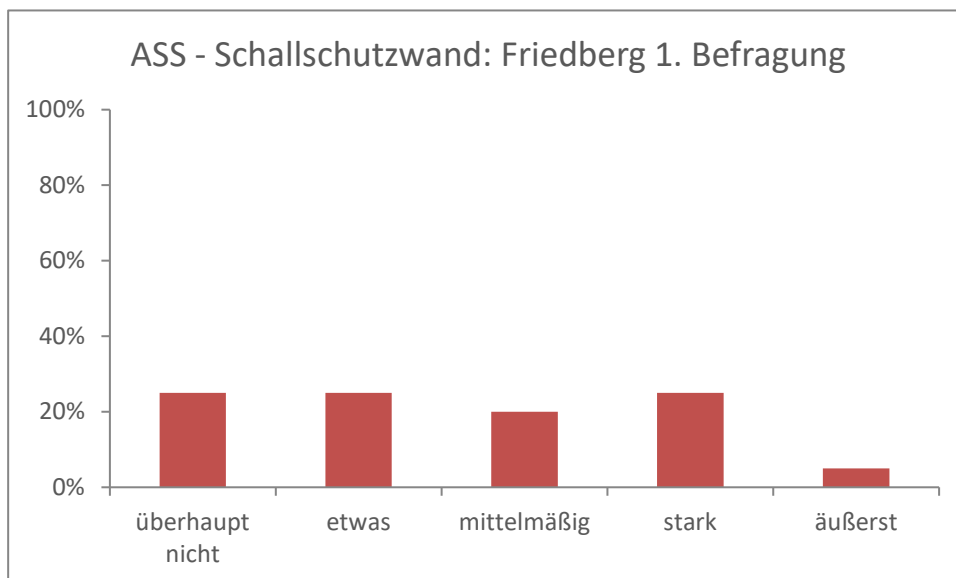


Abbildung 165: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Personenzüge in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung) (N = 20)

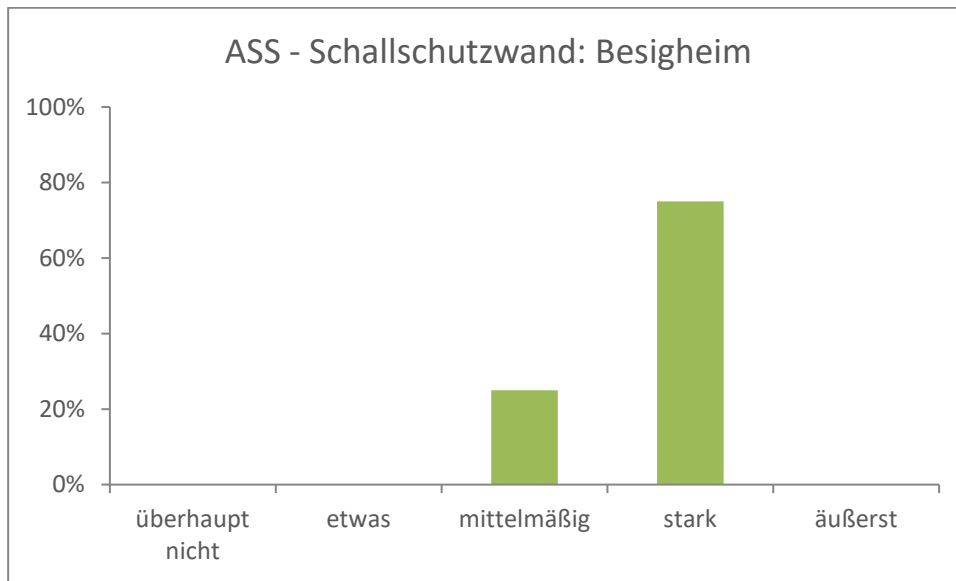


Abbildung 166: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Personenzüge in den letzten 12 Monaten in Besigheim (N = 4)

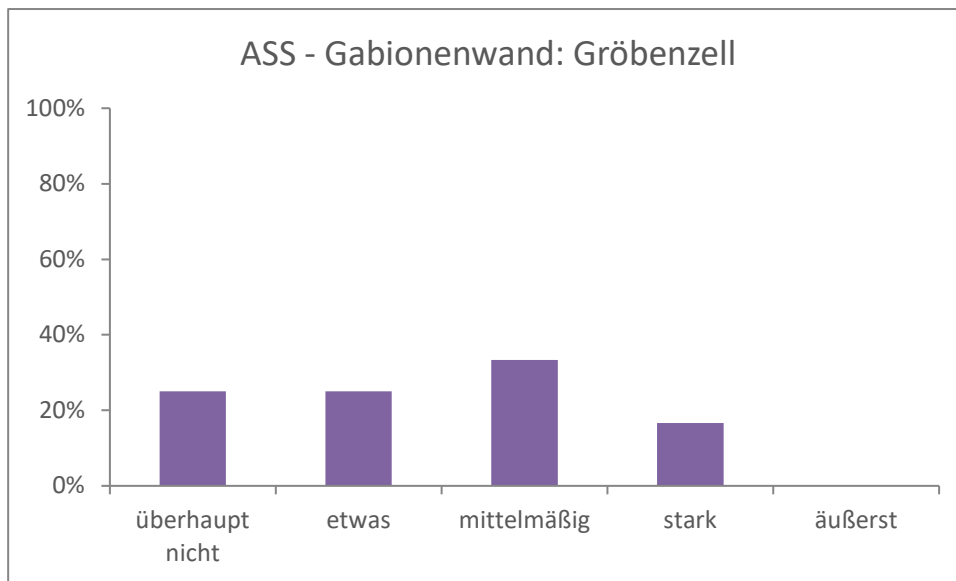


Abbildung 167: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Personenzüge in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell (N = 12)

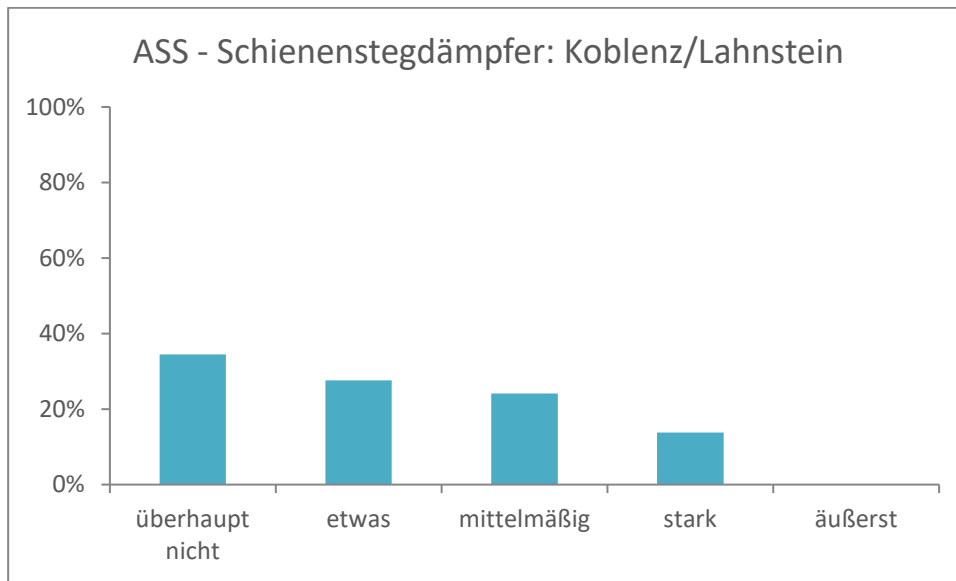


Abbildung 168: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Personenzüge in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein (N = 29)

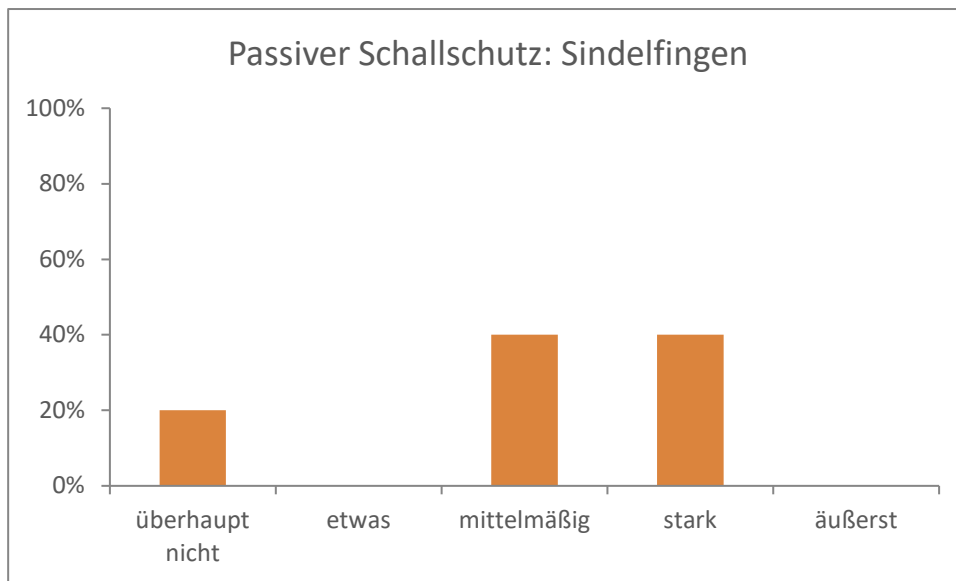


Abbildung 169: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Personenzüge in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen (N = 5)

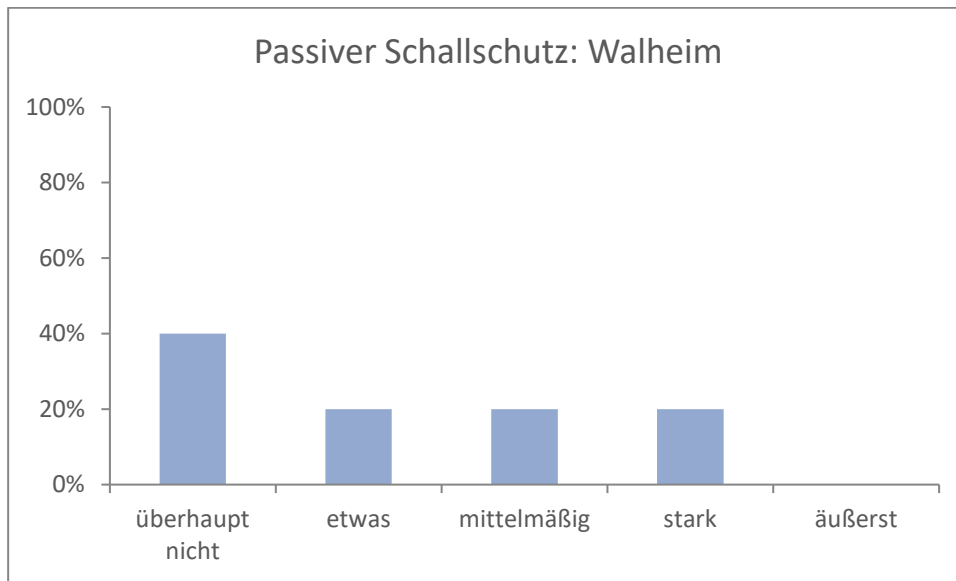


Abbildung 170: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Personenzüge in den letzten 12 Monaten in Walheim (N = 10)

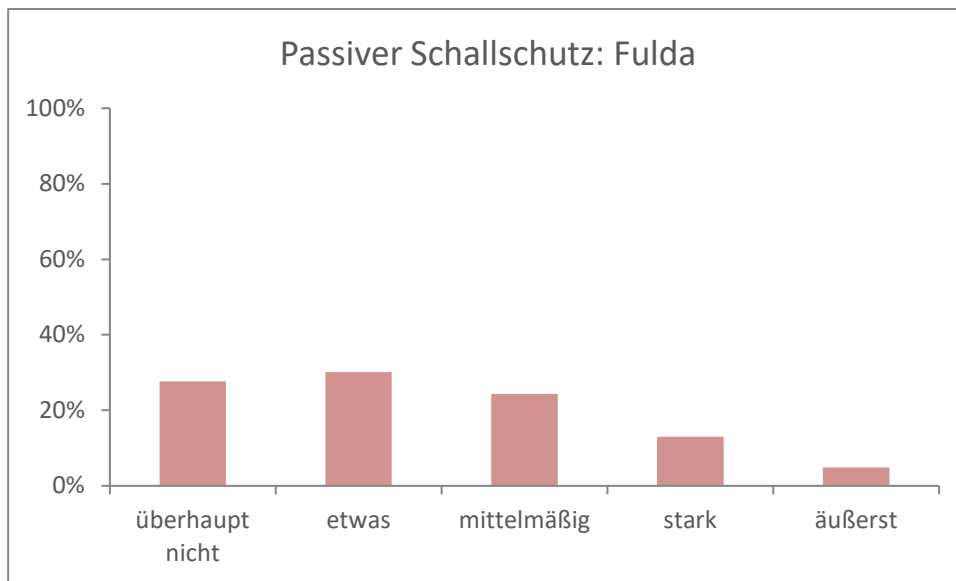


Abbildung 171: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Personenzüge in den letzten 12 Monaten in Fulda (N = 123)

**Belästigung durch Lärm von Straßen- und U-Bahnen in den letzten 12 Monaten**

Abbildung 172 bis Abbildung 179 zeigen für die Untersuchungsgebiete die Häufigkeit der einzelnen Antworten für die Frage nach der Belästigung durch Straßen- und U-Bahnen in den letzten 12 Monaten. Beantwortet wird die Belästigungsfrage auf einer Skala von (1) *überhaupt nicht belästigt* bis (5) *äußerst belästigt*.

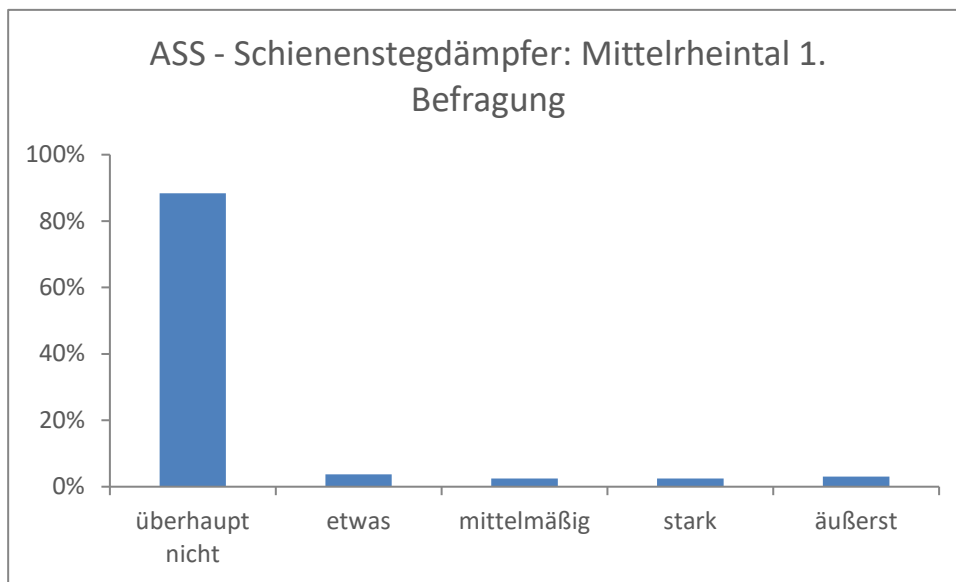


Abbildung 172: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßen- und U-Bahnen in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) (N = 163)

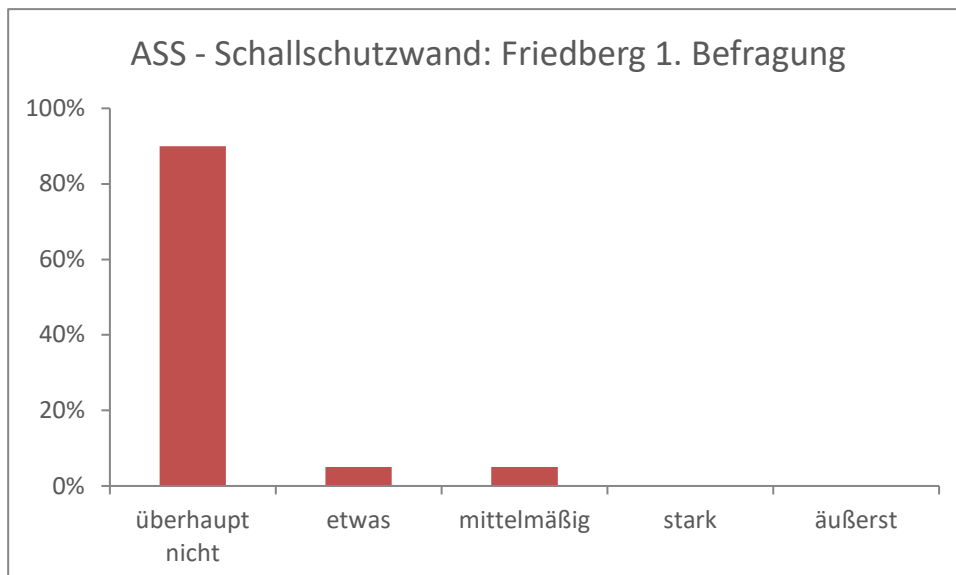


Abbildung 173: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßen- und U-Bahnen in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung) (N = 20)

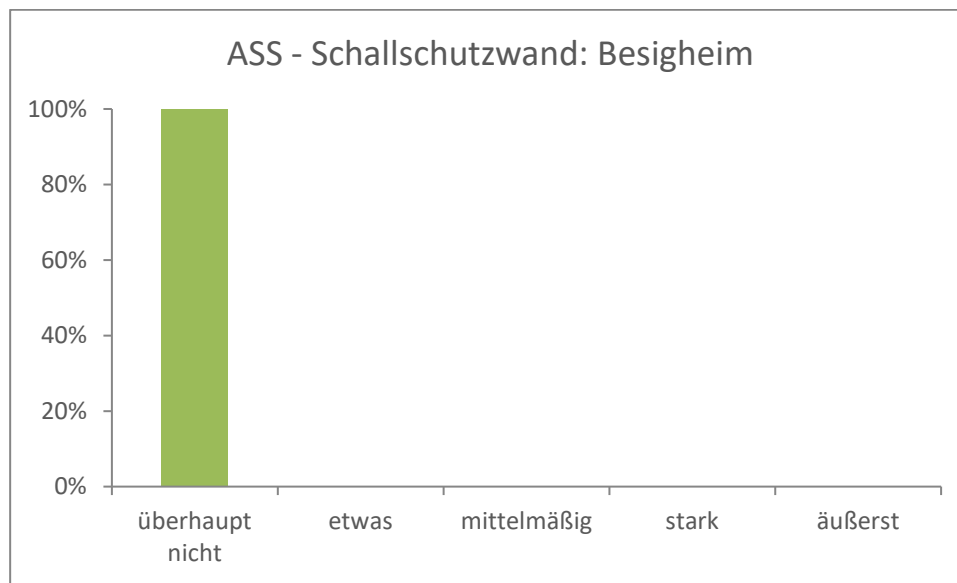


Abbildung 174: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßen- und U-Bahnen in den letzten 12 Monaten in Besigheim (N = 2)

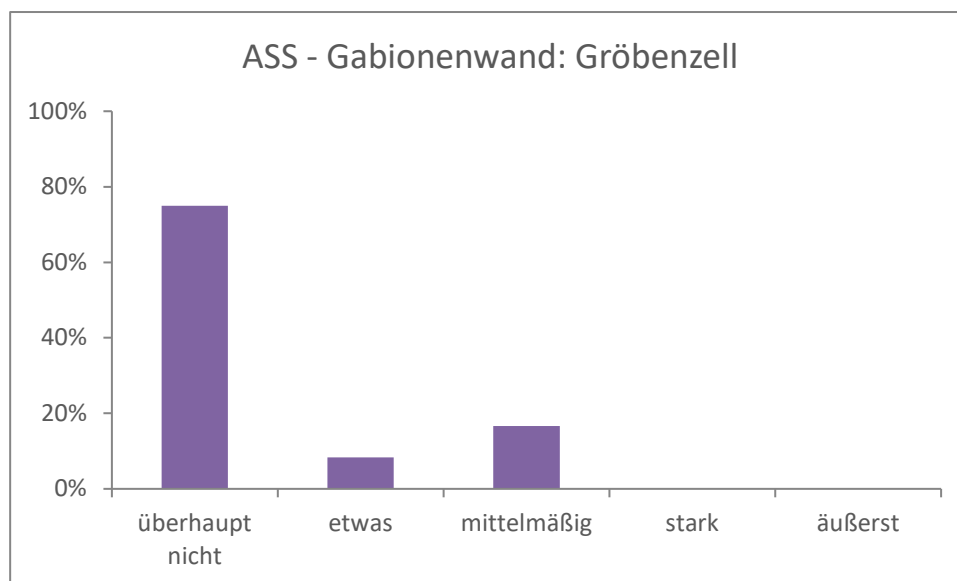


Abbildung 175: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßen- und U-Bahnen in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell (N = 12)

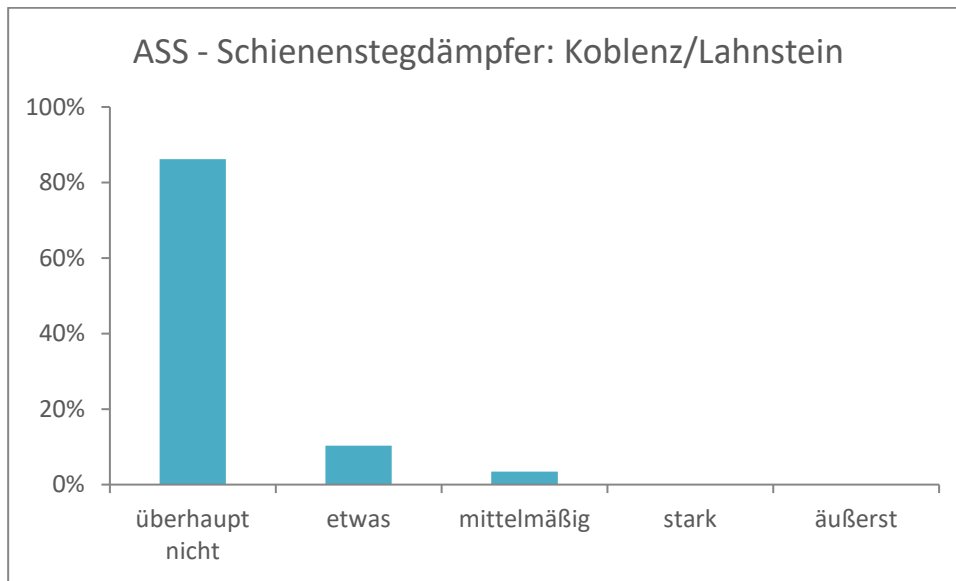


Abbildung 176: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßen- und U-Bahnen in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein (N = 29)

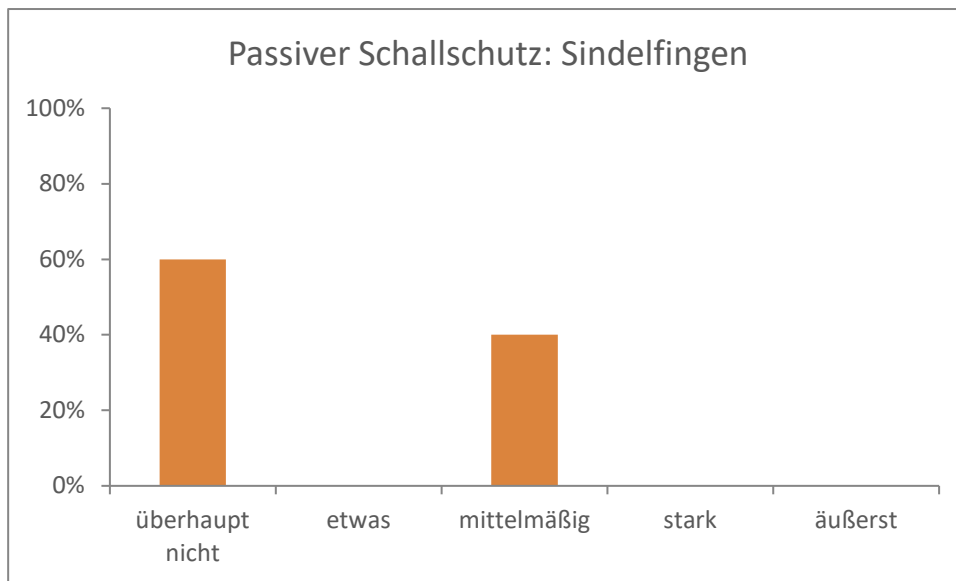


Abbildung 177: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßen- und U-Bahnen in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen (N = 5)



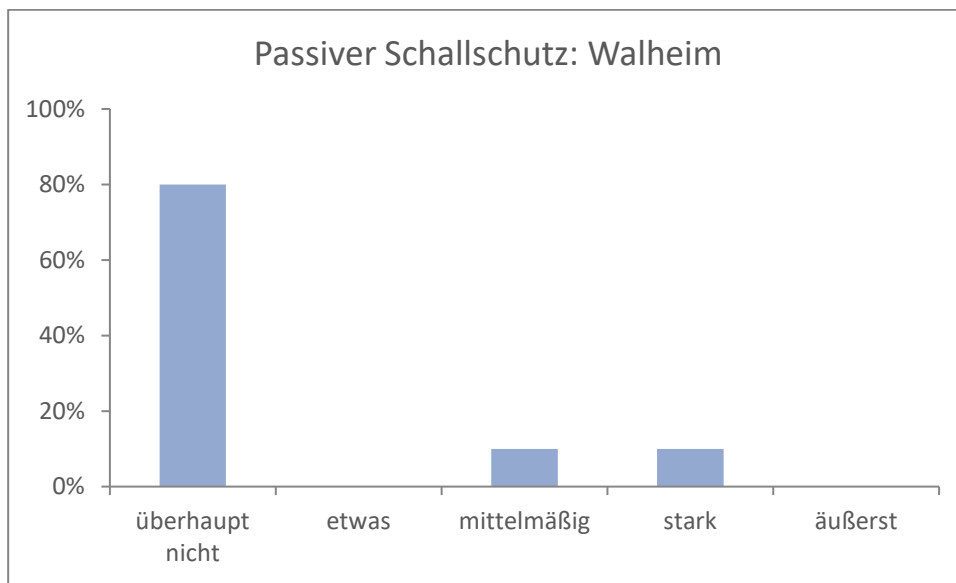


Abbildung 178: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßen- und U-Bahnen in den letzten 12 Monaten in Walheim (N = 10)

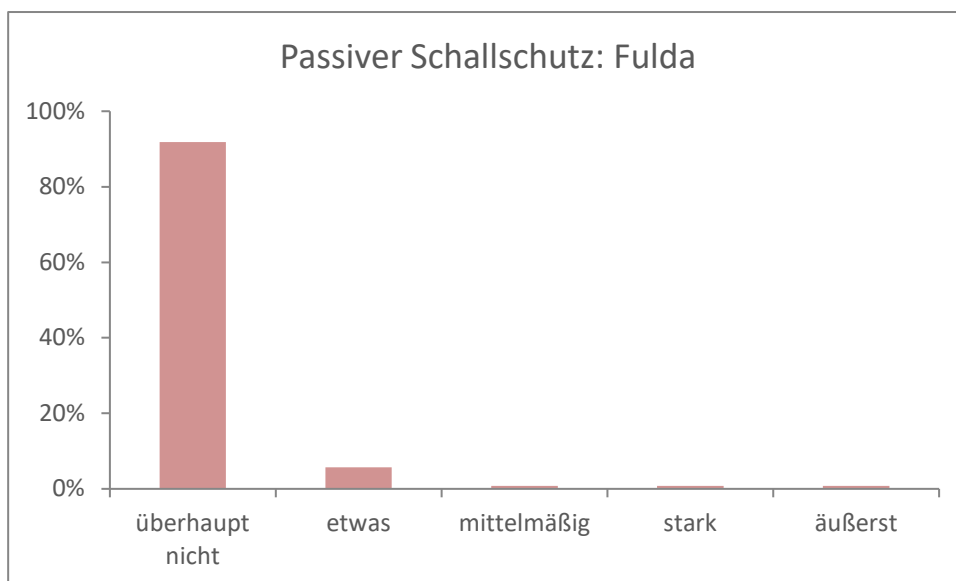


Abbildung 179: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Straßen- und U-Bahnen in den letzten 12 Monaten in Fulda (N = 122)

**Belästigung durch Lärm von Baustellen in den letzten 12 Monaten**

Abbildung 180 bis Abbildung 186 zeigen für die Untersuchungsgebiete die Häufigkeit der einzelnen Antworten für die Frage nach der Belästigung durch Baustellen in den letzten 12 Monaten. Beantwortet wird die Belästigungsfrage auf einer Skala von (1) *überhaupt nicht belästigt* bis (5) *äußerst belästigt*.

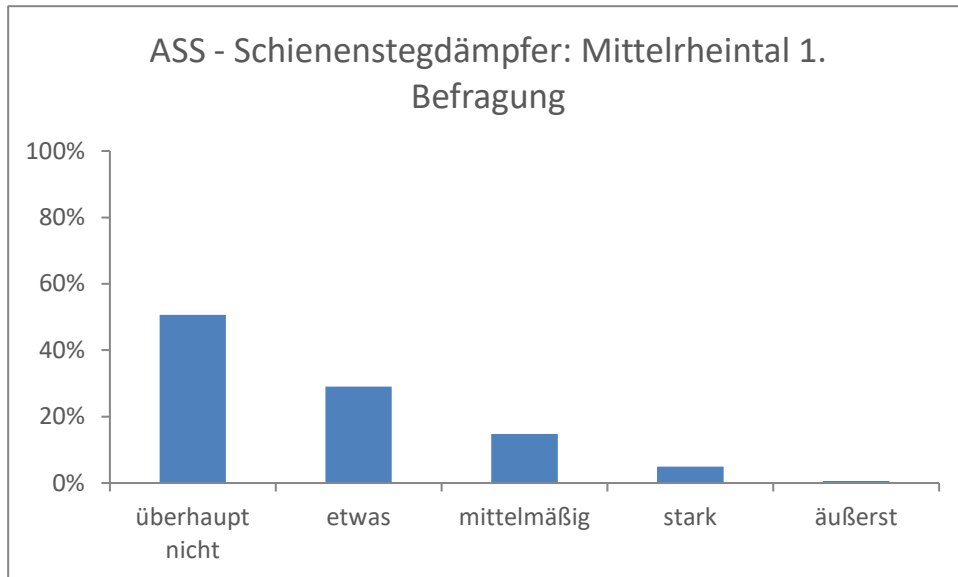


Abbildung 180: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm von Baustellen in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) (N = 163)

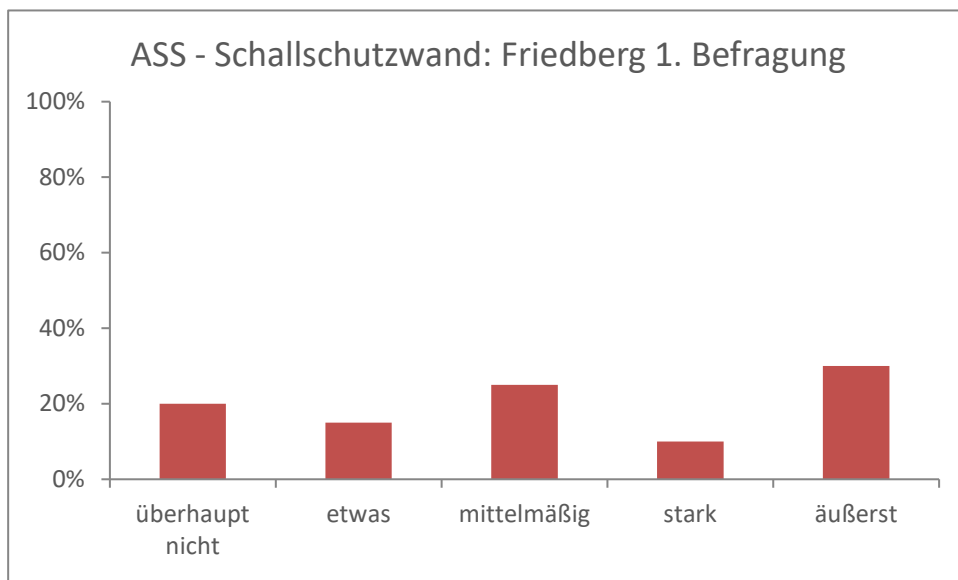


Abbildung 181: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm von Baustellen in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung) (N = 20)

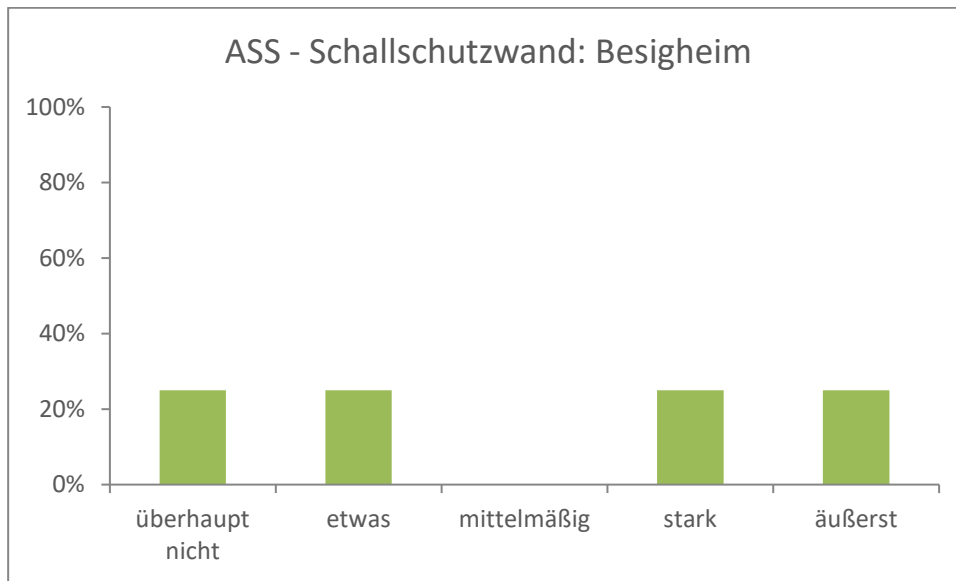


Abbildung 182: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm von Baustellen in den letzten 12 Monaten in Besigheim (N = 4)

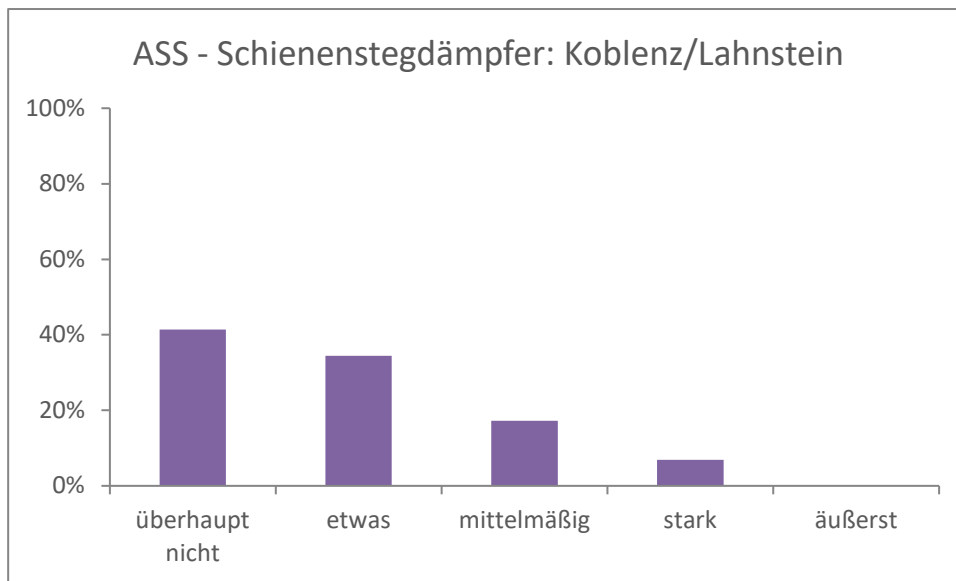


Abbildung 183: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm von Baustellen in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein (N = 29)

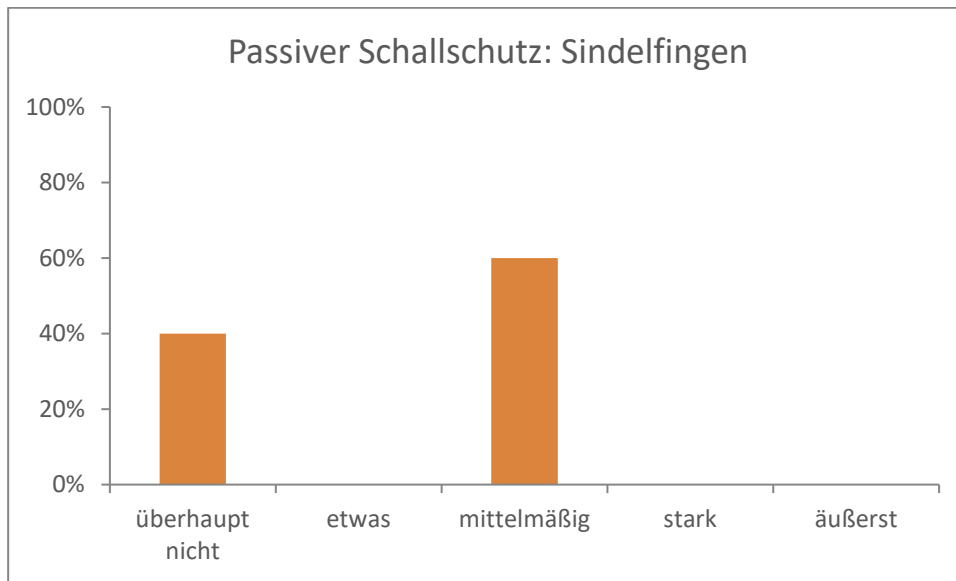


Abbildung 184: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm von Baustellen in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen (N = 5)

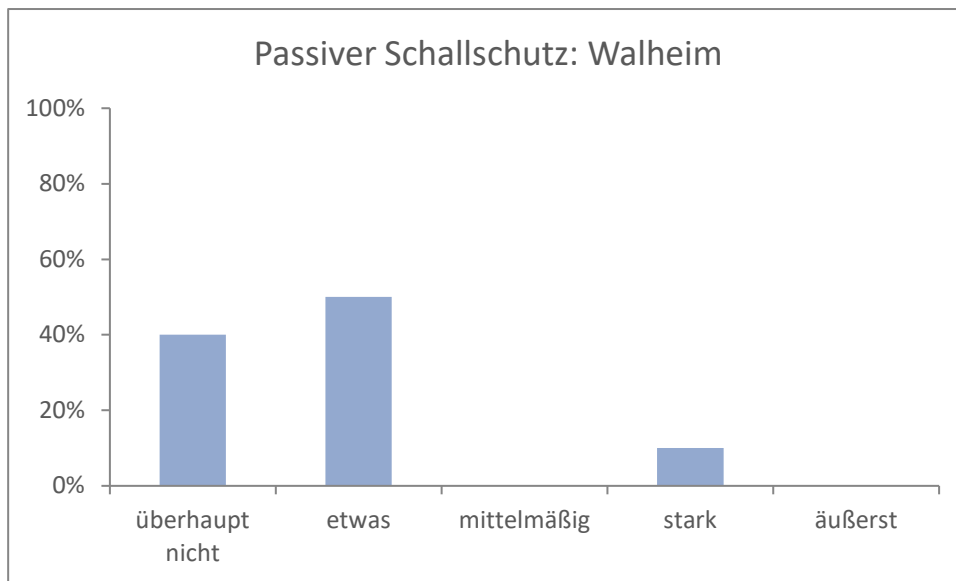


Abbildung 185: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm von Baustellen in den letzten 12 Monaten in Walheim (N = 10)

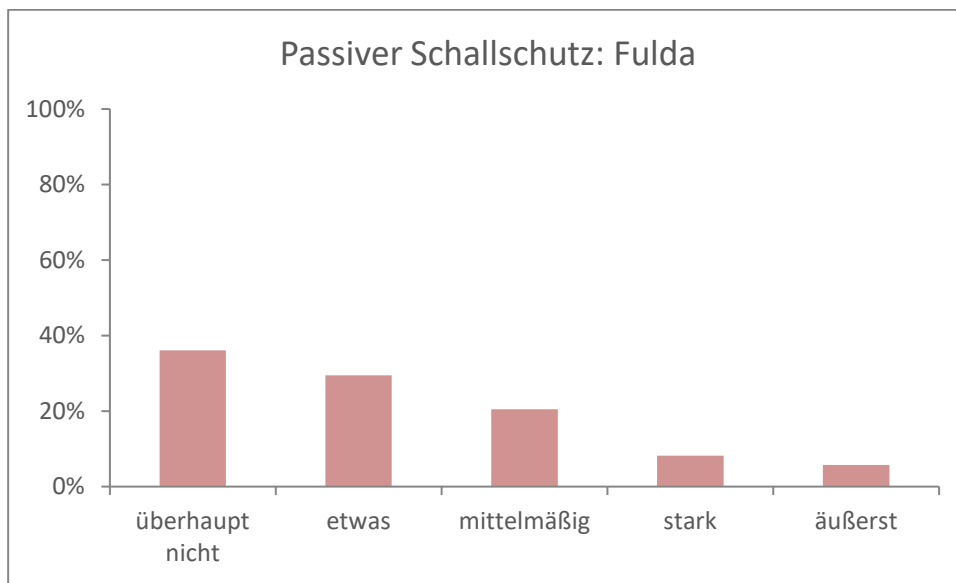


Abbildung 186: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Lärm von Baustellen in den letzten 12 Monaten in Fulda (N = 122)

**Erschütterungen: Belästigung durch Erschütterungen vom Eisenbahnverkehr in den letzten 12 Monaten**

Abbildung 187 bis Abbildung 194 zeigen für die Untersuchungsgebiete die Häufigkeit der einzelnen Antworten für die Frage nach der Belästigung durch Erschütterungen vom Eisenbahnverkehr in den letzten 12 Monaten. Beantwortet wird die Belästigungsfrage auf einer Skala von (1) *überhaupt nicht belästigt* bis (5) *äußerst belästigt*.

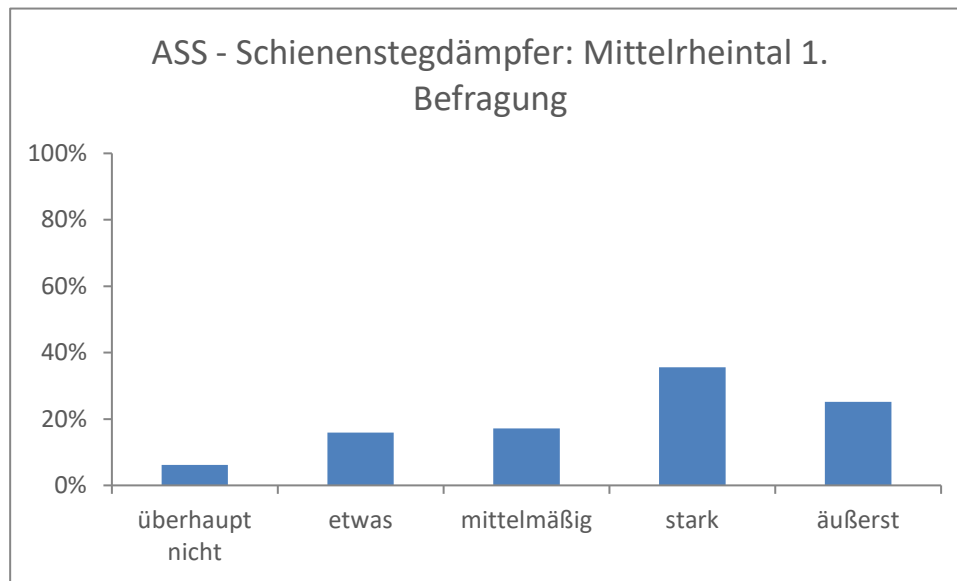


Abbildung 187: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Erschütterungen vom Eisenbahnverkehr in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) (N = 163)

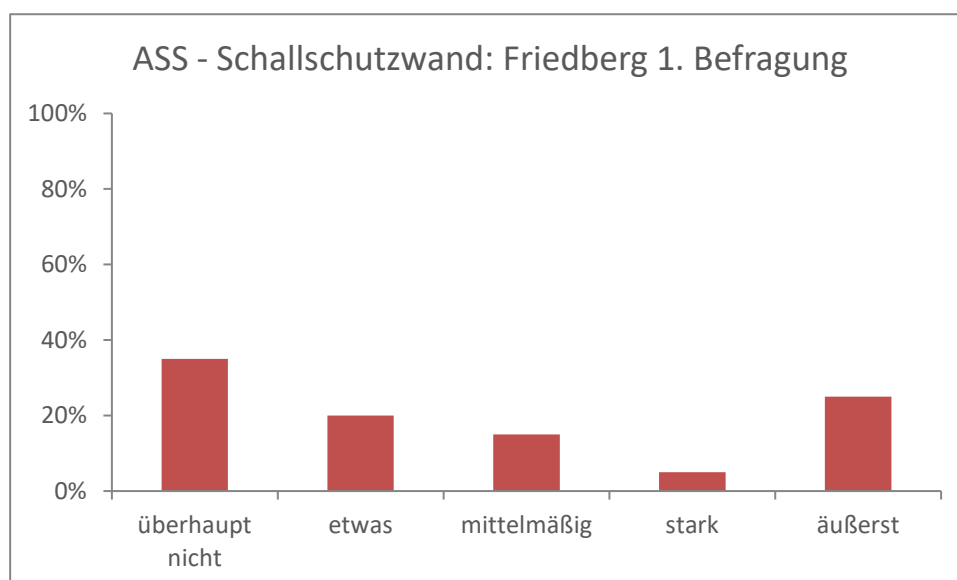


Abbildung 188: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Erschütterungen vom Eisenbahnverkehr in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung) (N = 20)

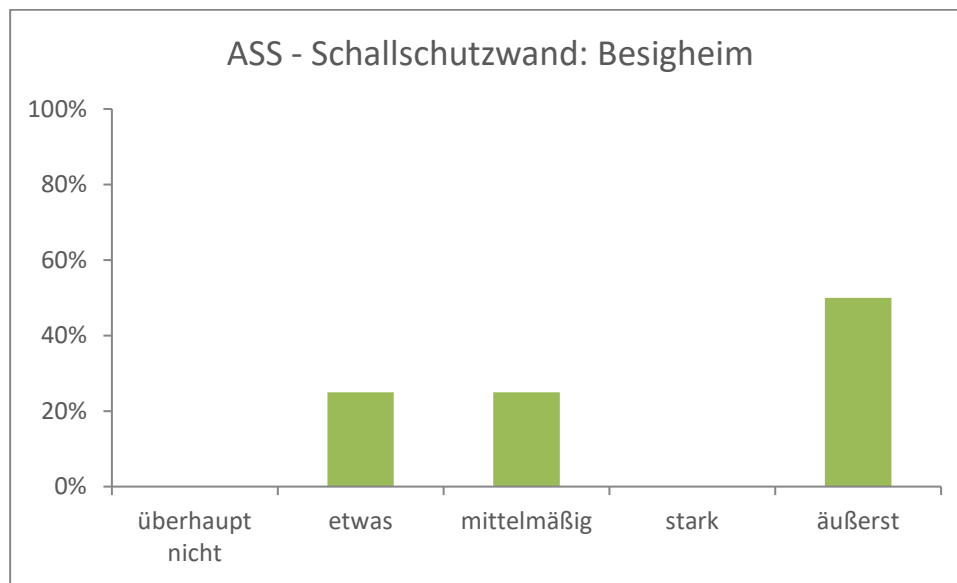


Abbildung 189: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Erschütterungen vom Eisenbahnverkehr in den letzten 12 Monaten in Besigheim (N = 4)

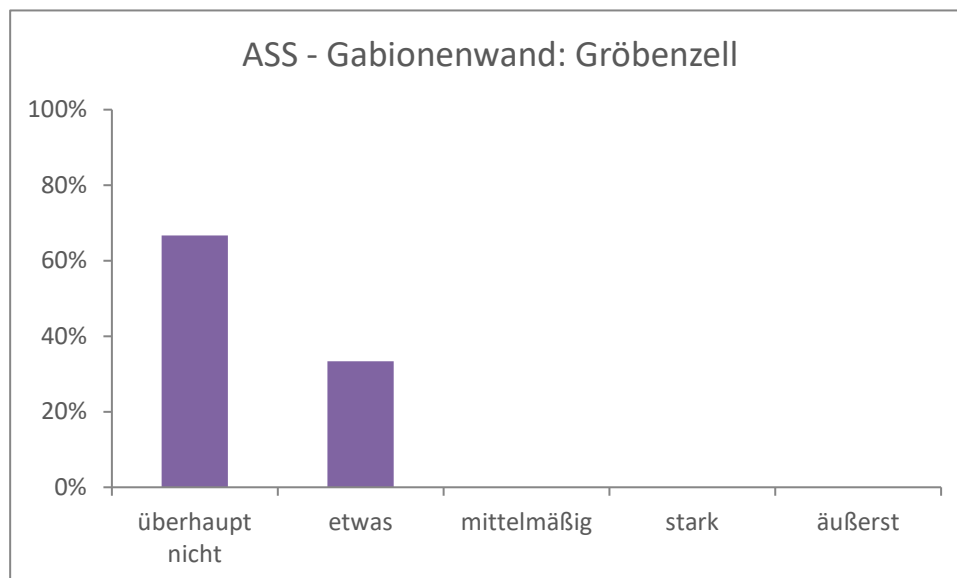


Abbildung 190: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Erschütterungen vom Eisenbahnverkehr in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell (N = 12)

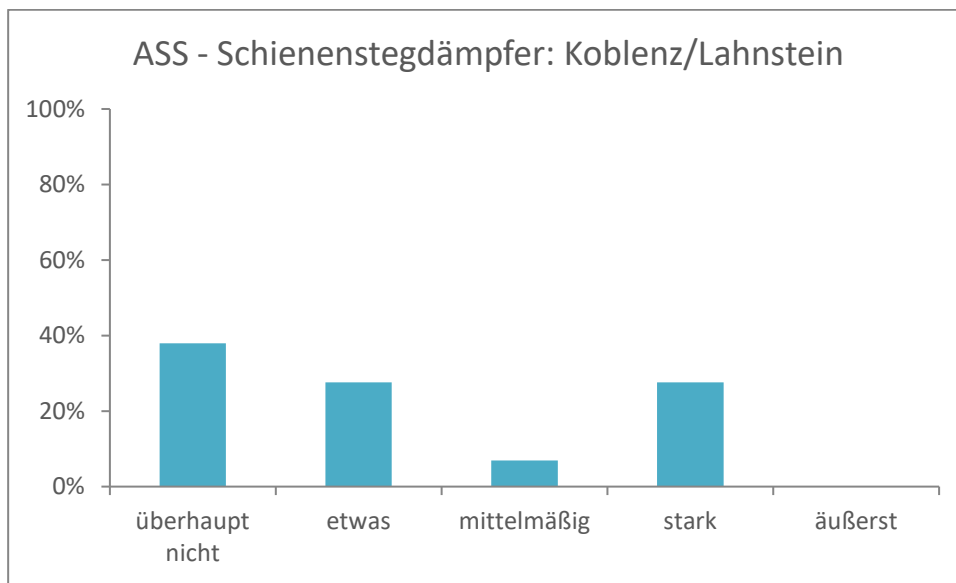


Abbildung 191: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Erschütterungen vom Eisenbahnverkehr in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein (N = 29)

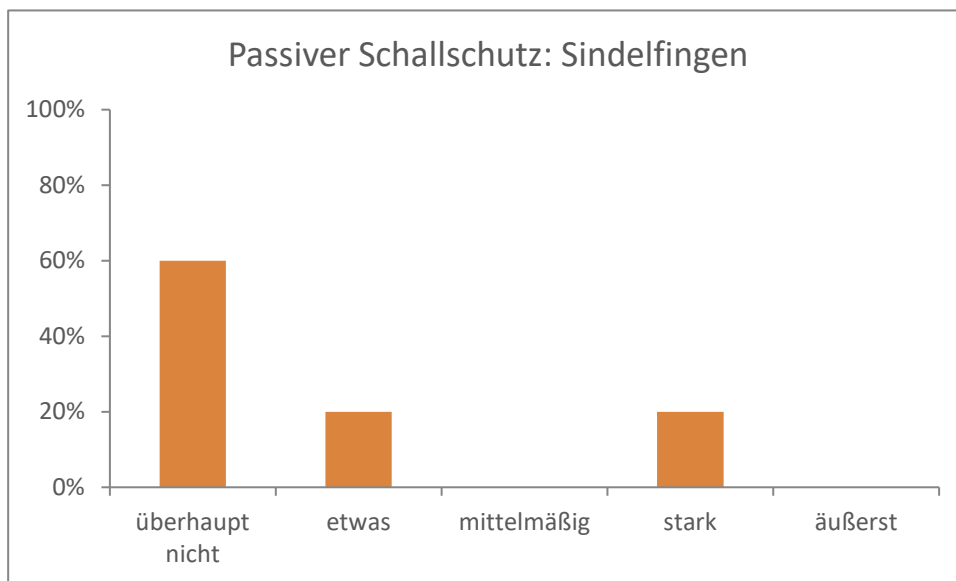


Abbildung 192: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Erschütterungen vom Eisenbahnverkehr in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen (N = 5)



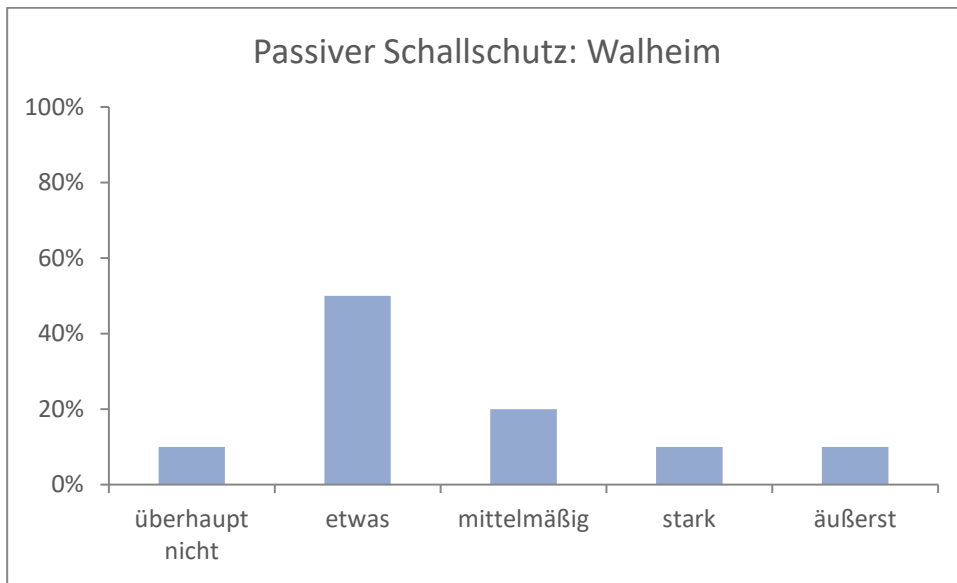


Abbildung 193: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Erschütterungen vom Eisenbahnverkehr in den letzten 12 Monaten in Walheim (N = 10)

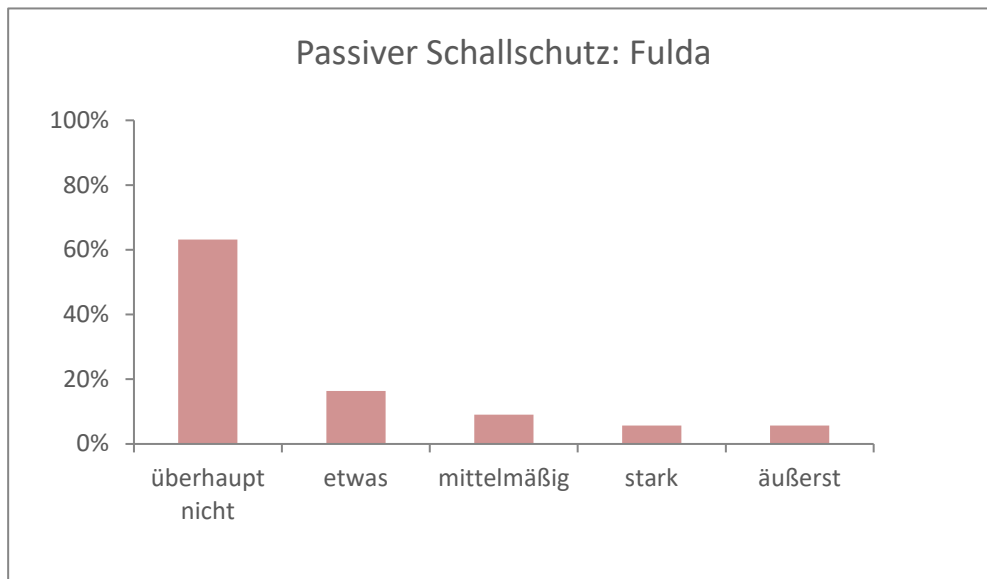


Abbildung 194: Häufigkeit der Antworten zur Frage nach der Belästigung durch Erschütterungen vom Eisenbahnverkehr in den letzten 12 Monaten in Fulda (N = 122)

### Schlafstörung beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Lärm in Wohnumgebung insgesamt

Abbildung 195 bis Abbildung 202 zeigen für die Untersuchungsgebiete die Häufigkeit in den einzelnen Antworten für die Frage nach Störungen beim Einschlafen, Nachtschlaf und Ausschlafen durch Lärm im Wohngebiet insgesamt in den letzten 12 Monaten. Beantwortet werden die Schlafstörungenfragen auf einer Skala von (1) *überhaupt nicht belästigt* bis (5) *äußerst belästigt*.

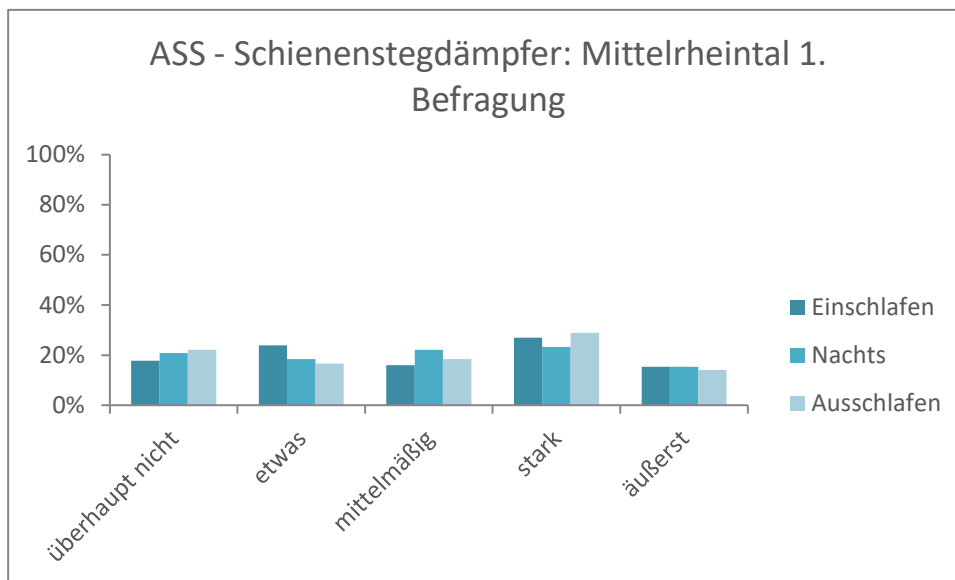


Abbildung 195: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Lärm in der Wohnumgebung insgesamt in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) (N = 163)

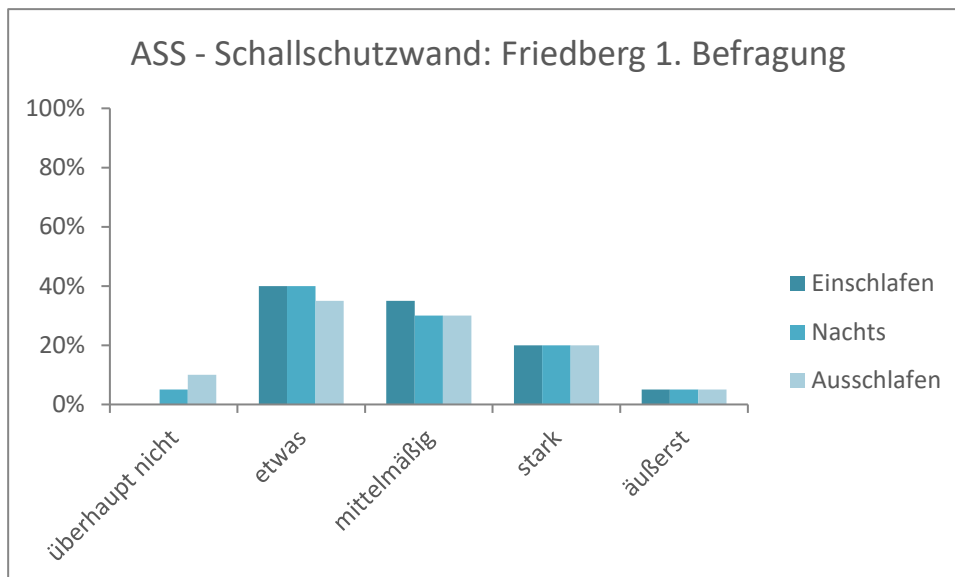


Abbildung 196: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Lärm in der Wohnumgebung insgesamt in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung) (N = 20)

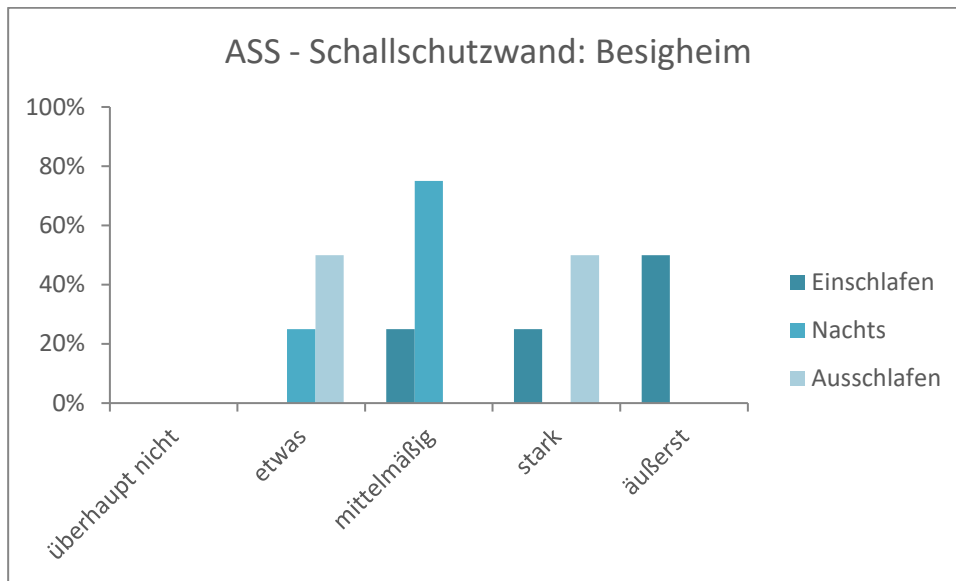


Abbildung 197: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Lärm in der Wohnumgebung insgesamt in den letzten 12 Monaten in Besigheim (N = 4)

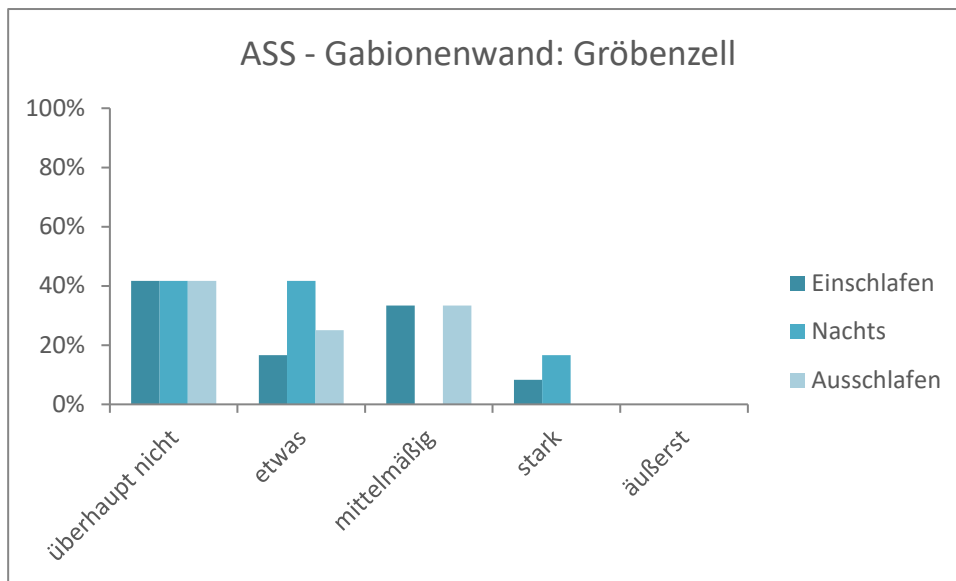


Abbildung 198: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Lärm in der Wohnumgebung insgesamt in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell (N = 12)

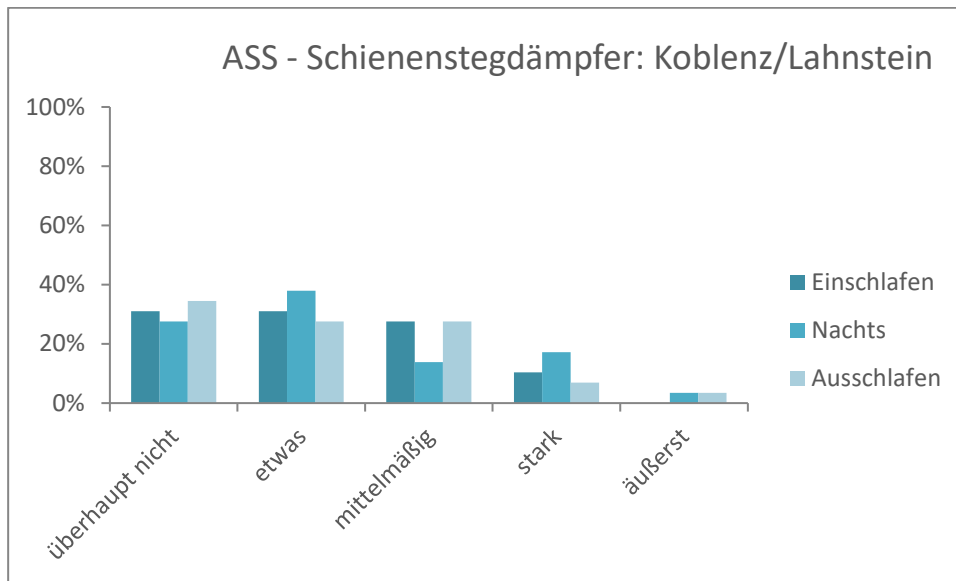


Abbildung 199: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Lärm in der Wohnumgebung insgesamt in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein (N = 29)

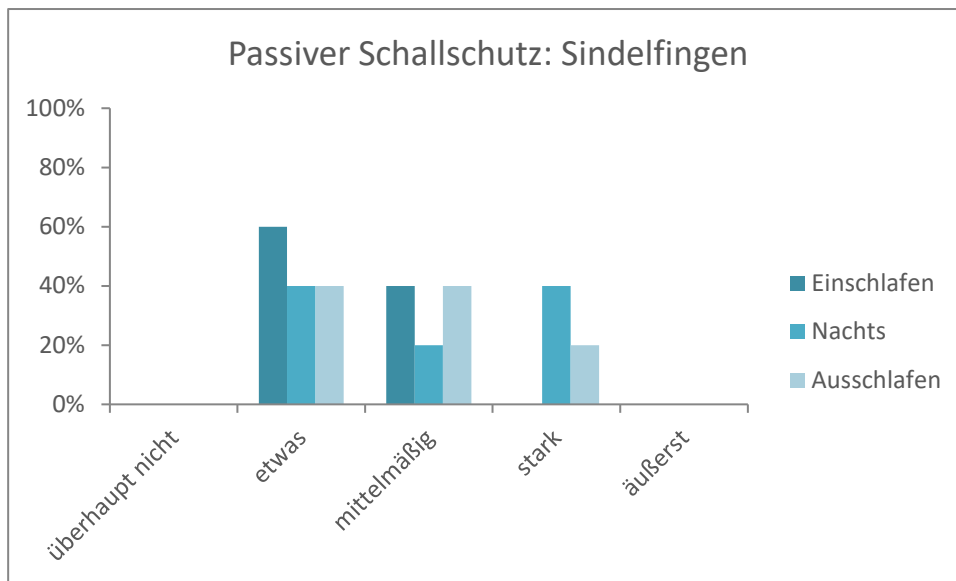


Abbildung 200: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Lärm in der Wohnumgebung insgesamt in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen (N = 5)

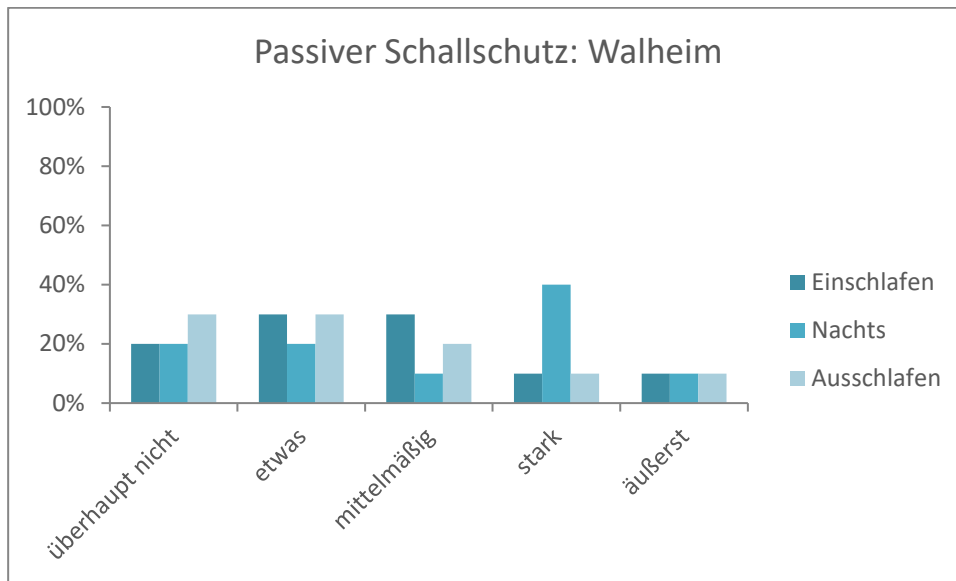


Abbildung 201: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Lärm in der Wohnumgebung insgesamt in den letzten 12 Monaten in Walheim (N = 10)

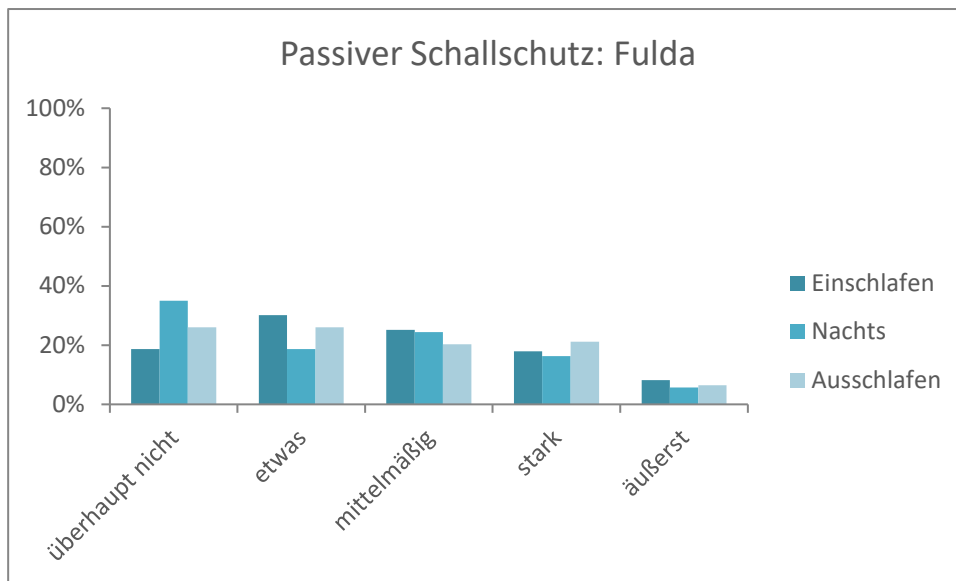


Abbildung 202: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Lärm in der Wohnumgebung insgesamt in den letzten 12 Monaten in Fulda (N = 123)

### Schlafstörung beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Straßenverkehrslärm

Abbildung 203 bis Abbildung 210 zeigen für die Untersuchungsgebiete die Häufigkeit in den einzelnen Antworten für die Frage nach Störungen beim Einschlafen, Nachtschlaf und Ausschlafen durch Straßenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten. Beantwortet werden die Schlafstörungsfragen auf einer Skala von (1) *überhaupt nicht belästigt* bis (5) *äußerst belästigt*.

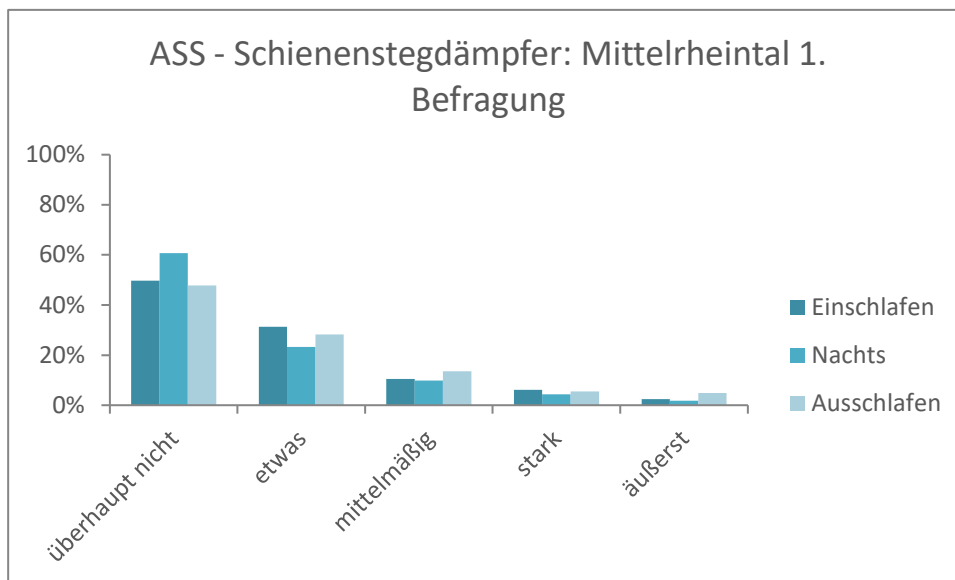


Abbildung 203: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Straßenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) (N = 163)

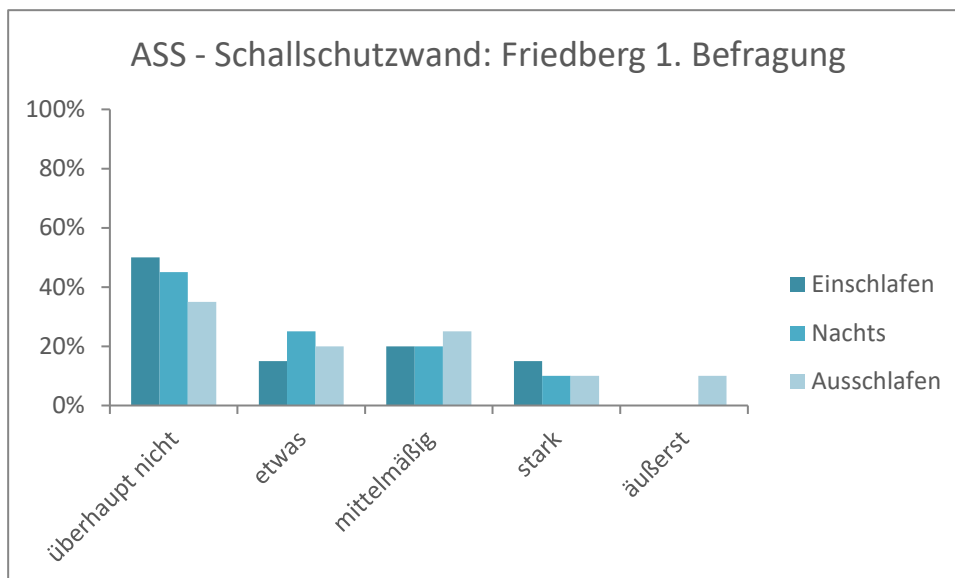


Abbildung 204: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Straßenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung) (N = 20)

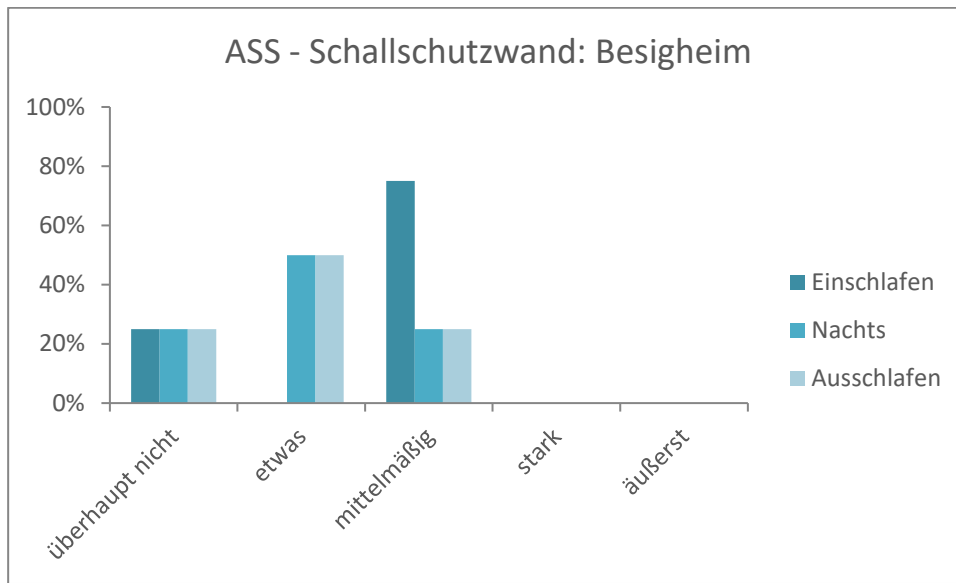


Abbildung 205: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Straßenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Besigheim (N = 4)

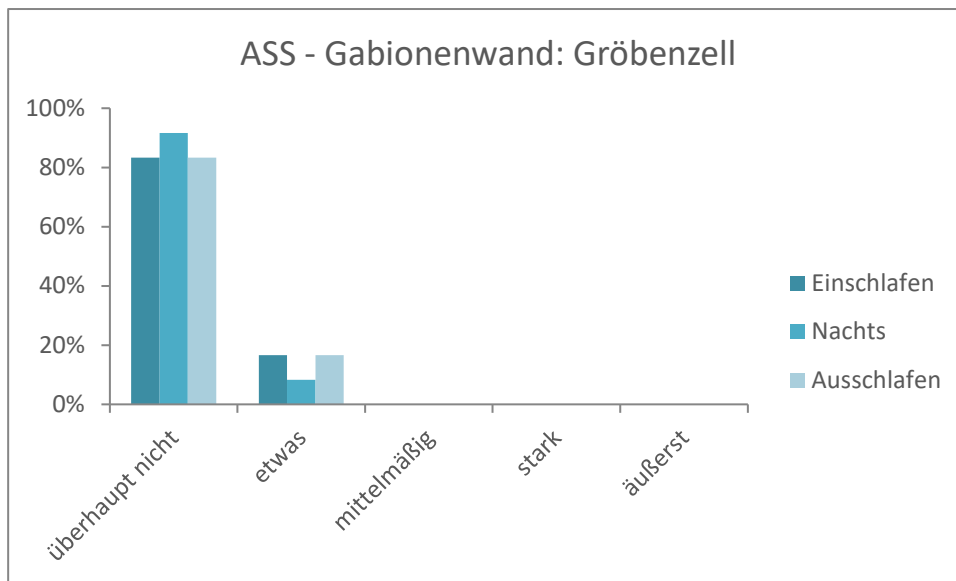


Abbildung 206: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Straßenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell (N = 12)

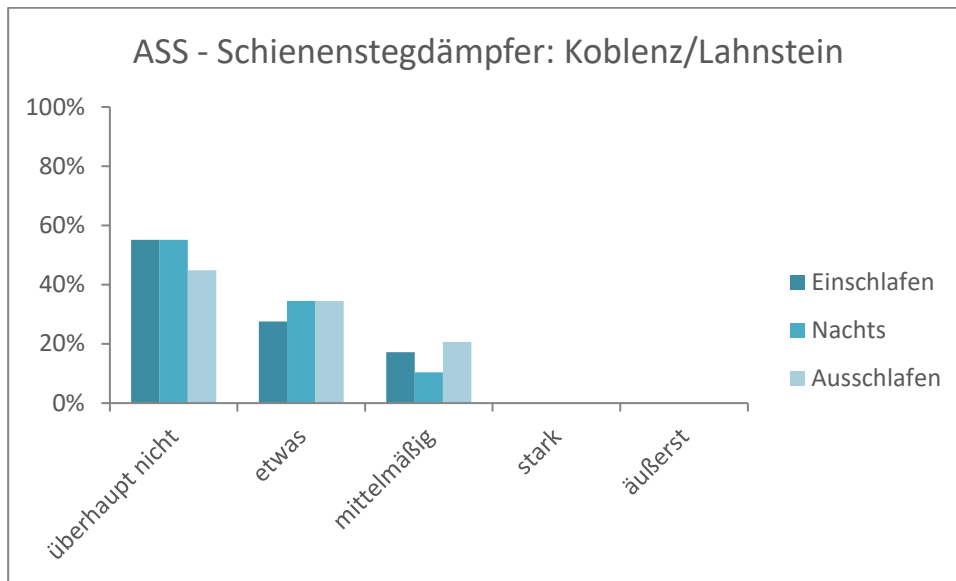


Abbildung 207: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Straßenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein (N = 29)

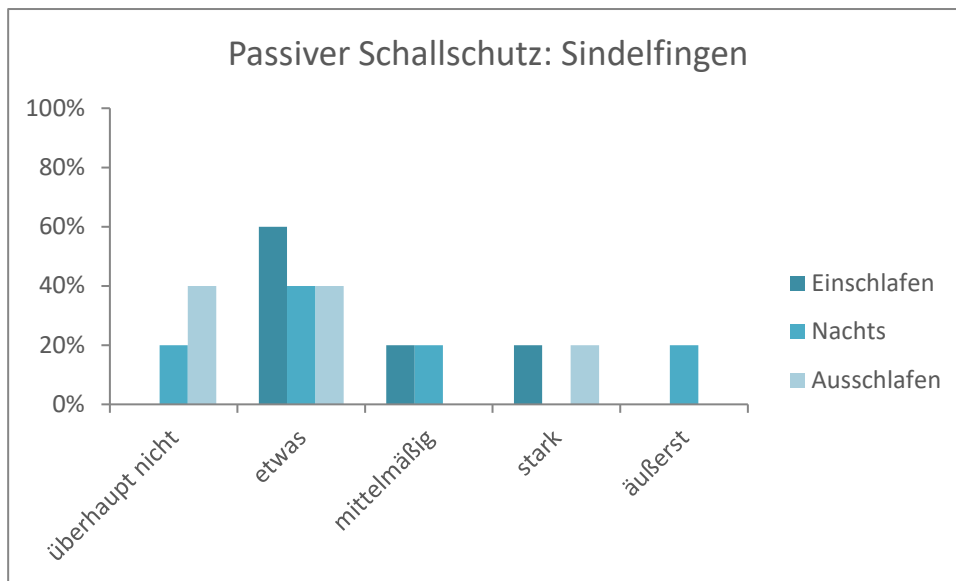


Abbildung 208: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Straßenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen (N = 5)



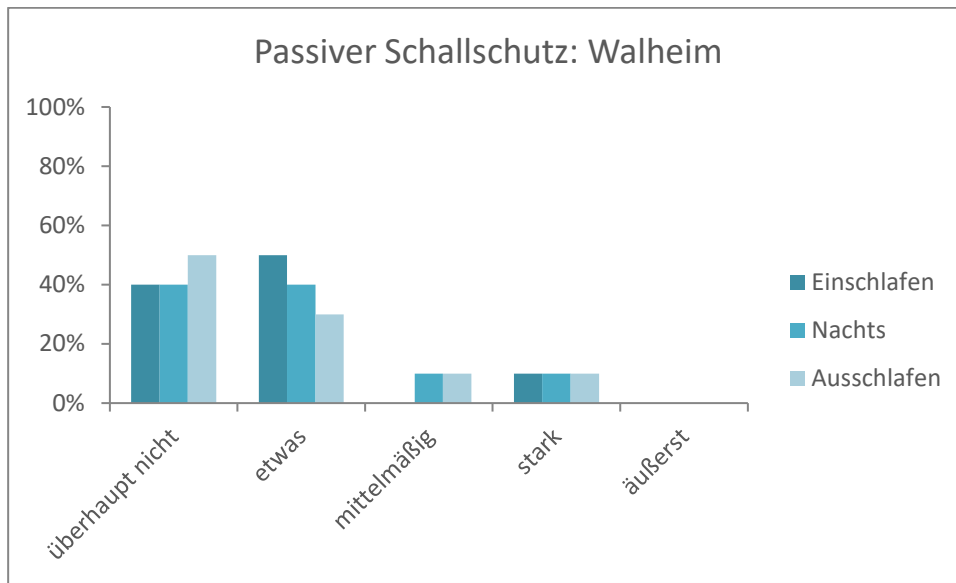


Abbildung 209: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Straßenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Walheim (N = 10)

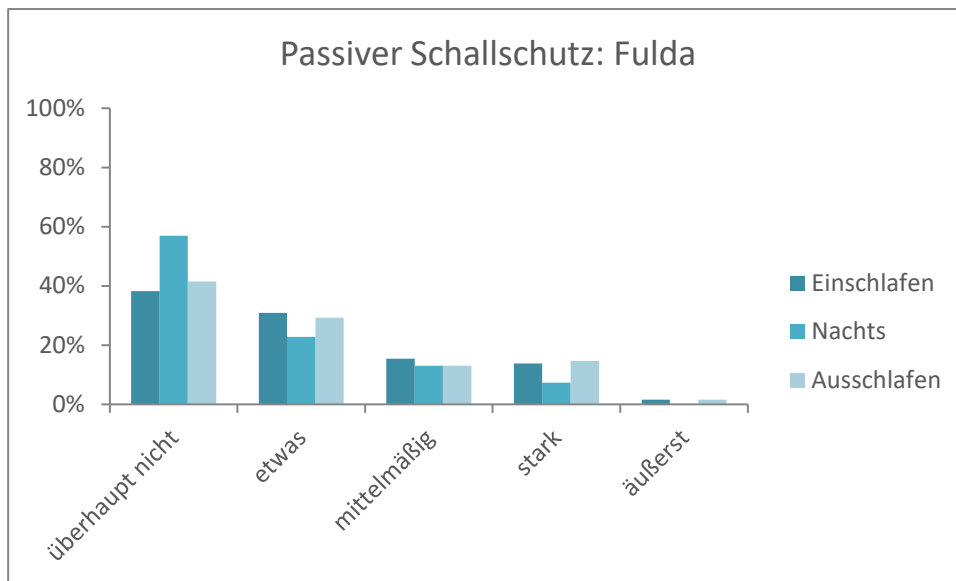


Abbildung 210: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Straßenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Fulda (N = 123)

### Schlafstörung beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Schienenverkehrslärm

Abbildung 211 bis Abbildung 218 zeigen für die Untersuchungsgebiete die Häufigkeit in den einzelnen Antworten für die Frage nach Störungen beim Einschlafen, Nachtschlaf und Ausschlafen durch Schienenverkehrslärm insgesamt in den letzten 12 Monaten. Beantwortet werden die Schlafstörungsfragen auf einer Skala von (1) *überhaupt nicht belästigt* bis (5) *äußerst belästigt*.

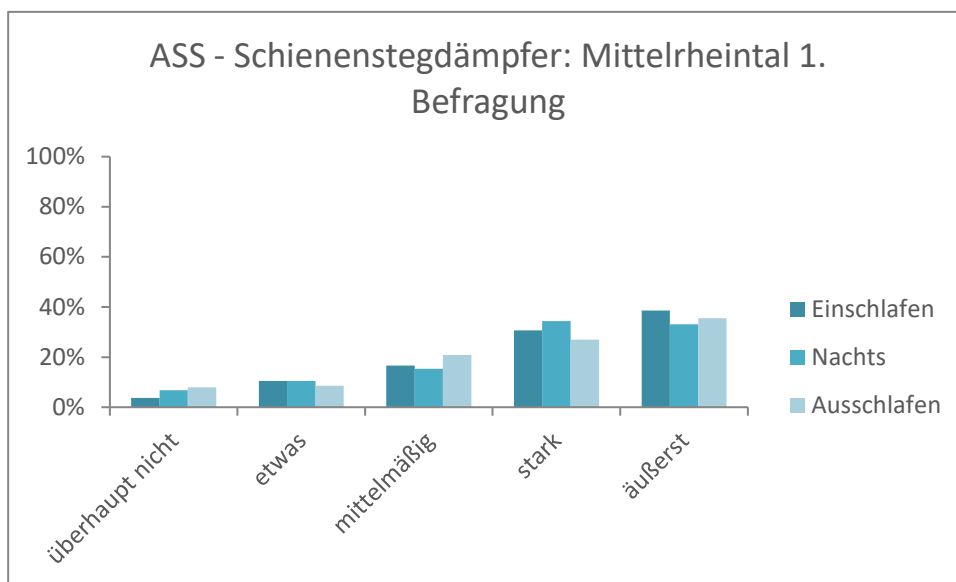


Abbildung 211: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Schienenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten im Mittelrheintal (1. Befragung) (N = 163)

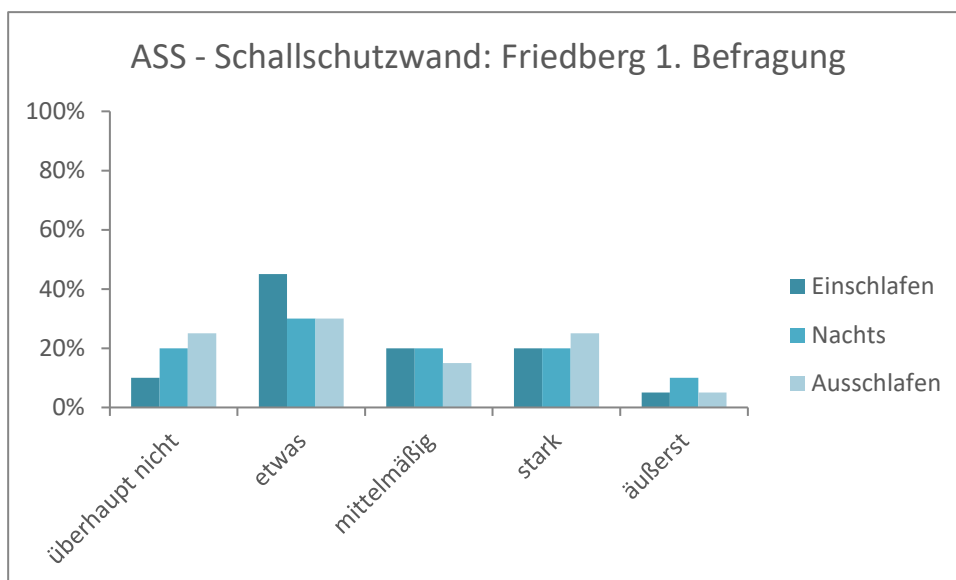


Abbildung 212: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Schienenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Friedberg (1. Befragung) (N = 20)

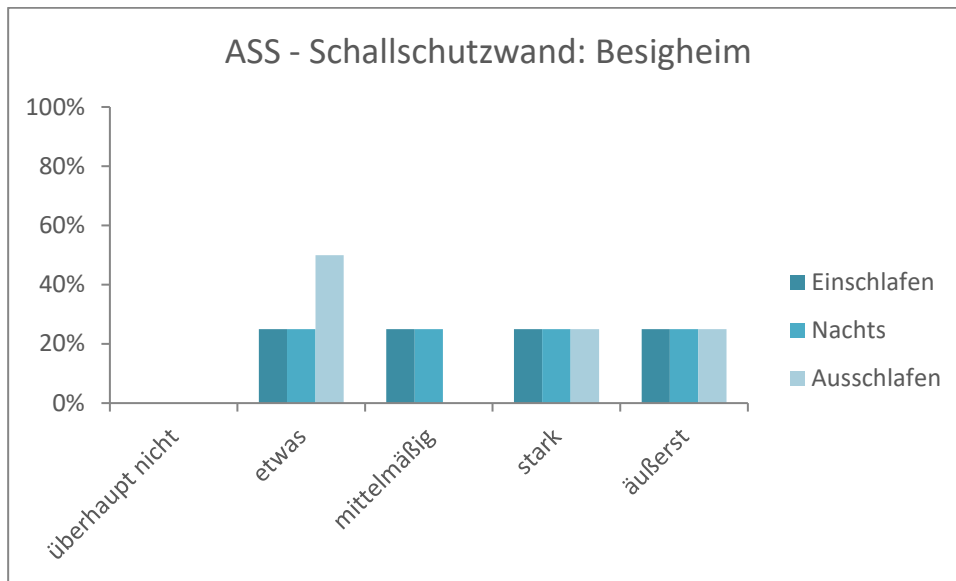


Abbildung 213: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Schienenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Besigheim (N = 4)

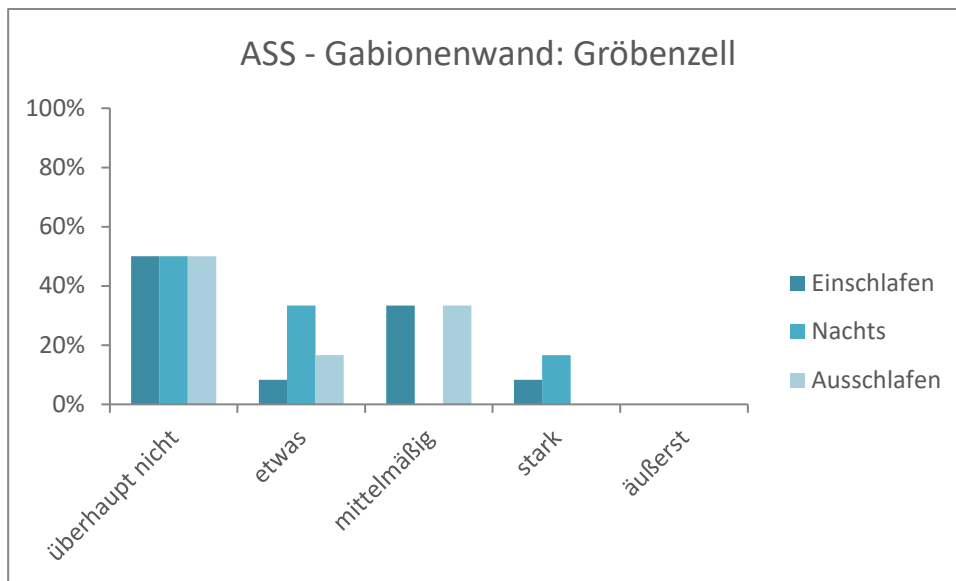


Abbildung 214: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Schienenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Gröbenzell (N = 12)

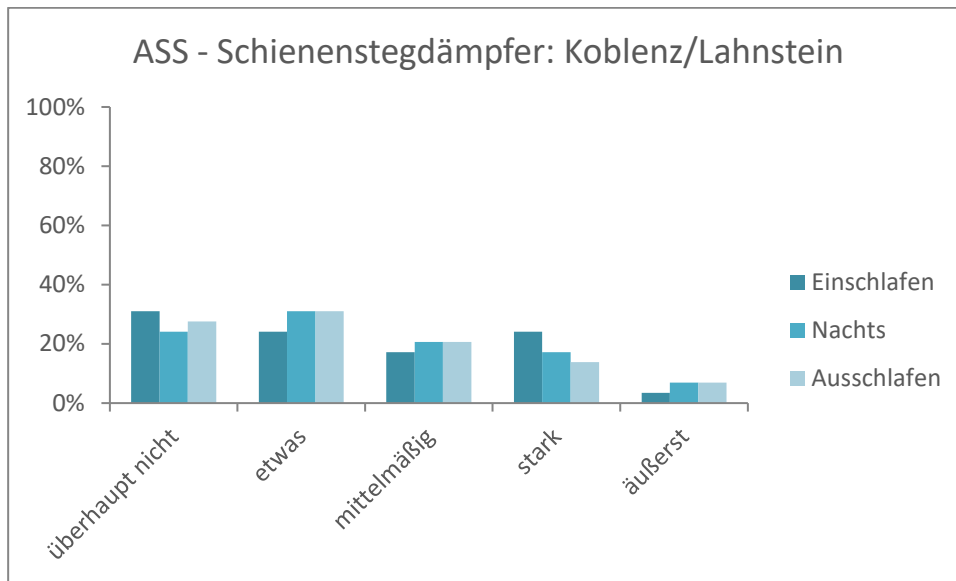


Abbildung 215: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Schienenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Koblenz/Lahnstein (N = 29)

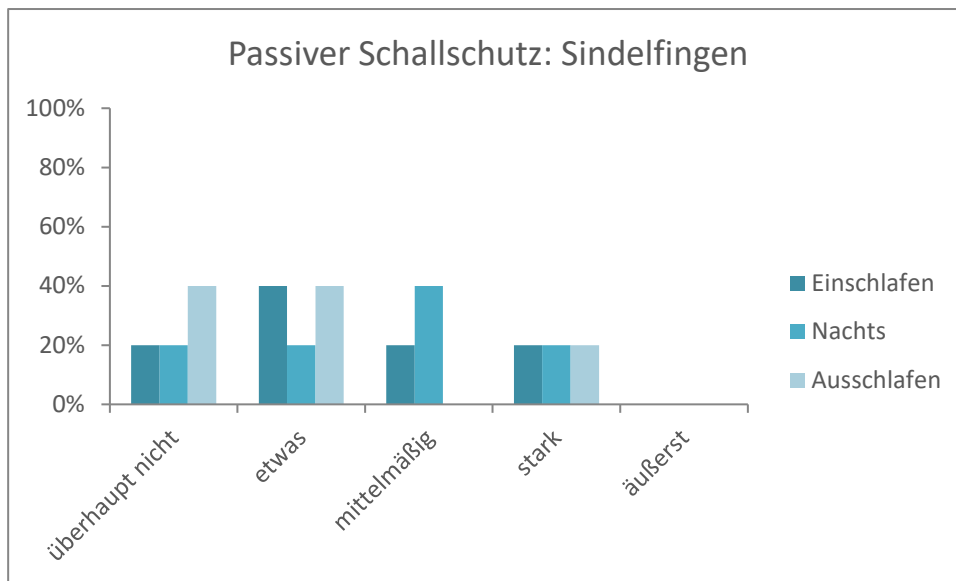


Abbildung 216: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Schienenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Sindelfingen (N = 5)

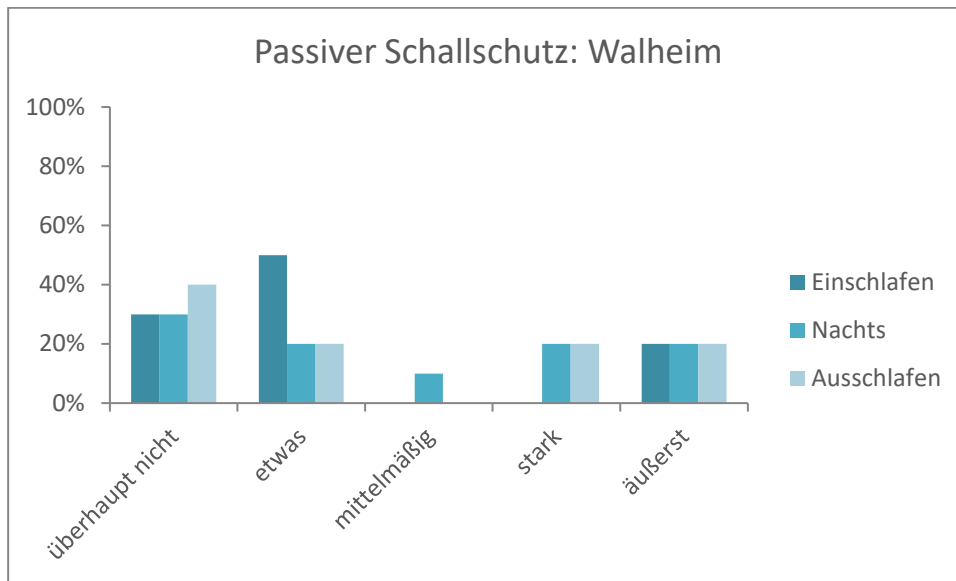


Abbildung 217: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Schienenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Walheim (N = 10)

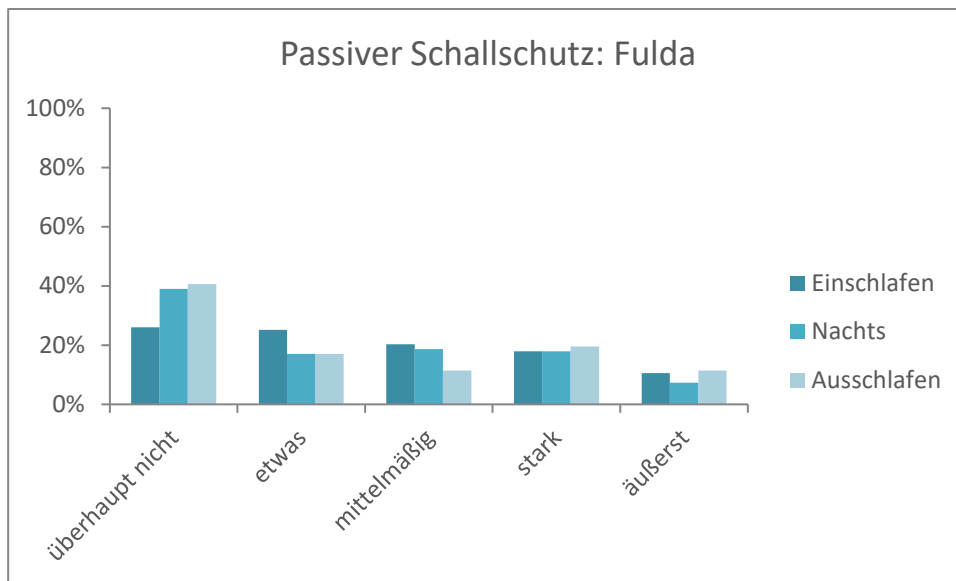


Abbildung 218: Häufigkeit der Angaben zur Frage nach Störungen beim Ein-, Durch- und Ausschlafen durch Schienenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten in Fulda (N = 123)

**Kommunikation von Maßnahmen**

TABELLE 26: ÜBERBLICK ÜBER VORSCHLÄGE ZUR KOMMUNIKATION VON UND INFORMATIONEN ÜBER (GEPLANTE) MAßNAHMEN

**Frage: „Was würden Sie sich für die Kommunikation von solchen Maßnahmen wünschen und welche Informationen würden Sie sich wünschen?“**

<b>Mittelrheintal (ASS: Schienenstegdämpfer)</b>	<b>Anzahl</b>
Informationen per Post/Briefsendung/Flyer erwünscht (außerdem schnelle Mitteilung von Entscheidungen erwünscht)	37
Inhaltliche Informationen (Art und Zeitraum der Maßnahmen, Kosten, Wirkungsabschätzung, objektive Messergebnisse, Ziel der Maßnahme, Bericht über Ergebnisse nach Implementierung, Korrekte Informationen (Planung der Maßnahme änderte sich zwischenzeitlich und führte zu unterschiedlichen Voraussetzungen bei Anwohnenden und der Förderung von alternativen Schallschutzmaßnahmen = falsche Informationen), Informationen über gesundheitliche Auswirkungen)	25
Informationsveranstaltung vor Ort / Einbezug der Bürger (bessere Vorbereitung der Informationsveranstaltung, Zusammenarbeit v. örtlicher Politik, Bürgerinitiativen, Landespolitik zu Lärmschutzmaßnahmen)	16
Forderung von Maßnahmen statt Kommunikation/Alternative Maßnahmen (z. B. Geschwindigkeitsbegrenzung, Fahrverbote für laute Fahrzeuge, Austausch defekter Wagons, individuelle Lösungen, Abschaffung von Ausnahmen für bestehende Strecken)	13
Information durch örtliche Medien	11
Informationen über digitale Medien (Homepage, Email, App)	8
Keine Verbesserung	6
Unspezifisch	24
<b>Friedberg (ASS: Schallschutzwand)</b>	
frühzeitige Information	5
Einbezug der Anwohnenden / Ansprechpartner für Informationen	3
Informationen per E-Mail/Post	2
Informationsveranstaltung für Anwohnende	2
Umfangreichere Informationen	1
Kommunikation aller Möglichkeiten für Lärmschutz im jeweiligen Gebiet	1
Schadensersatz für Lärmbelästigung	1
Vorwarnung vor Baulärm	1

Nutzbarkeit der Mauer, legale Graffiti	1
Unspezifische Anmerkungen	6
<b>Gröbenzell (ASS: Schallschutzwand, Gabione)</b>	
Ende und Länge der Schallschutzwand wurde nicht klar kommuniziert	2
Kommunikation nur zwischen Bahn und Gemeinde	1
Kommunikation falscher Schallschutzmaßnahme	1
Messung von Pegeln und Mitteilung darüber an die Bürger	1
Kurzupdates aus Gesprächen und Versammlungen	1
<b>Fulda (Passiver Schallschutz)</b>	
Mangelnde Informationen durch Vermieter	4
Inhaltlicher Informationswunsch (Informationen über Zeitraum und Art der Maßnahmen, Legitimation, Finanzierung und eventuell Ausblick)	4
Postalisches Schreiben ausreichend	1
Unspezifische Anmerkungen	3











Zugdaten															
Versuch	Datum	Zeit	Zugart	Geschwindigkeit	Anzahl LOK	Anzahl Wagen	Richtung	Bemerkung	Temperatur	CH 4, MP 2.1, 6,5 m über SO	CH 5, MP 2.2, 3,5 m über SO	CH 6, MP 2.3, 1,2 m über SO	CH 1, MP 1.1, 6,5 m über SO	CH 2, MP 1.2, 3,5 m über SO	CH 3, MP 1.3, 1,2m über SO
				v						dB	dB	dB	dB	dB	dB
				km/h						SUM(A)	SUM(A)	SUM(A)	SUM(A)	SUM(A)	SUM(A)
111	26.11.20	2:21	GZ	80	2	38	Augsburg			89,6	89,2	84,3	81,5	76,9	73,6
112	26.11.20	2:26	GZ	98		27	Donauworth			91,9	91,5	87,2	81,8	78,7	76,2
113	26.11.20	2:38	GZ	90		21	Augsburg			93,7	93,1	88,2	84,2	79,8	76,8
114	26.11.20	3:18	GZ	99		19	Donauworth			91,5	91,1	87,4	82	78,9	76,3
115	26.11.20	3:22	GZ	142		18	Augsburg			101	101	95,9	92,5	86,9	84,1
116	26.11.20	3:23	GZ	88		20	Donauworth			93,7	93,2	89,5	82,8	78,5	76,1
117	26.11.20	3:39	GZ	86		20	Augsburg			90,7	90,1	86,1	84,2	79,9	76,1
118	26.11.20	3:45	GZ	88		34	Augsburg			95,9	95,5	90,7	88,1	83,2	80,3
119	26.11.20	3:51	GZ	79		17	Augsburg			92,7	92,1	87,8	85,3	80,4	77,4
120	26.11.20	4:04	GZ	101		40	Donauworth			101	101	96,9	90,7	87,3	85
121	26.11.20	4:28	ET440	98		4	Augsburg			79	78,2	73,3	68,5	64	60,8
122	26.11.20	4:32	GZ	87		17	Augsburg			89,1	88,7	84	80,1	75,6	72,4
123	26.11.20	4:59	ICE	114		14	Donauworth			86,1	85,7	81,2	77,6	75,2	72,7
124	26.11.20	5:00	ET440	94		4	Augsburg			77,8	77,1	71,6	68,9	64,2	61,3
125	26.11.20	5:19	ICE	169		14	Donauworth			91,2	91,6	87	81,5	79,2	78,2
126	26.11.20	5:26	dosto	73	1	5	Augsburg			83,7	83	79	75,8	72,1	67,9
127	26.11.20	5:31	ET445	147		6	Donauworth			85	85,1	80,7	75,6	73,5	72,7
128	26.11.20	5:45	dosto	75	1	5	Augsburg	Fremdgeräusch im REF							
129	26.11.20	5:49	ET440	82		3	Donauworth	Entlüftung Bremse bei LSW							
	26.11.20	6:00	Messende												