

Verkehrsträger- übergreifende Lärmkumulation in komplexen Situationen

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 344

bast

Verkehrsträger- übergreifende Lärmkumulation in komplexen Situationen

von

Christian Popp
Sebastian Eggers
Frank Heidebrunn

Natali Cortes

Lärmkontor GmbH
Hamburg

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 344

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A - Allgemeines
- B - Brücken- und Ingenieurbau
- F - Fahrzeugtechnik
- M - Mensch und Sicherheit
- S - Straßenbau
- V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** stehen zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 02.0400
Verkehrsträgerübergreifende Lärmkumulation
in komplexen Situationen

Fachbetreuung
Michael Chudalla

Referat
Umweltschutz

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion
Stabsstelle Presse und Kommunikation

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-95606-579-8

Bergisch Gladbach, Mai 2021



Kurzfassung – Abstract

Verkehrsträgerübergreifende Lärmkumulation in komplexen Situationen

Das Einwirken mehrerer Lärmquellen (Lärmkumulation) ist nicht nur in urbanen, sondern auch in ländlichen Situationen ein grundlegendes Problem. Es ist dort zu erwarten, wo sich Verkehrswege unterschiedlicher Verkehrsträger begegnen.

Es erfolgt eine systematische Analyse möglicher Situationen, in denen eine Lärmkumulation auftreten kann. Anhand verschiedener Modellberechnungen werden Lärmkumulationen untersucht, um relevante Einflussgrößen, aber auch Ansatzpunkte für Minderungsmaßnahmen zu bestimmen. Ein einheitlicher Umgang kann aus den Erhebungen nicht abgeleitet werden. Aufgrund der hohen Komplexität empfiehlt sich stets eine Prüfung im Einzelfall.

Die Erhebungen zeigen, dass in Deutschland derzeit kein einheitlicher Umgang mit Mehrfachbelastungen bzw. Gesamtlärm existiert. So werden Gesamtlärmsituationen derzeit einzelfallbezogen, aber ohne feste Vorgaben behandelt. Einen ersten Ansatz liefert die VDI 3722-2, diese ist jedoch nicht im Immissionsschutzrecht eingebunden und bildet als Wirkgrößen nur die Belästigung und Schlafstörung ab.

Um einen einheitlichen Umgang mit Lärmkumulationen zu erreichen, wird eine Methodik für eine Gesamtlärmbetrachtung vorgeschlagen, die unabhängig von konkreten Rechenvorschriften, Additionsverfahren und Bewertungsgrundlagen ist. Die Anwendung des Verfahrens wird in einem Leitfaden dokumentiert: In einer Vorprüfung und dem eigentlichen Verfahren zur Lärmkumulation werden mehrere Schritte durchlaufen, um eine Lärmkumulation zu identifizieren, einen Maßnahmenbedarf abzuleiten und Maßnahmen – in einem iterativen Verfahren – zu prüfen.

Mit dem im vorliegenden Forschungsprojekt entwickelten Leitfaden steht nun ein transparentes und einfaches Werkzeug für die Praxis zur Verfügung, mit welchem eine Gesamtlärmbetrachtung systematisch angegangen werden kann.

Accumulation of noise from different traffic noise sources in complex situations

The influence of multiple noise sources (accumulation of noise) is a fundamental problem not only in urban but also in rural areas. It occurs mainly where traffic routes cross or run in parallel.

In a systematic review, situations where an accumulation of noise might occur are identified. With different model calculations, the accumulation of noise is analyzed to identify key determinants for the occurrence but also possible approaches for noise mitigation measures. A standardized handling of noise accumulation cannot be derived from the evaluation. Due to the high complexity an individual assessment is recommended.

The present study shows that in Germany multiple noise exposure or overall noise is not considered in a standardized manner. In general, case-by-case decisions are made. The VDI 3722-2 guidelines offer an approach, however, they are not integrated in the national immission protection law and only represents the nuisance and sleep disturbance as effective variables.

For a standardized approach on noise accumulation, a procedure for the consideration of overall noise is developed that is independent from specific noise calculation and addition methods and methods for noise assessment. The procedure is implemented in a guideline: In the first phase a pre-assessment is carried out and the actual procedure for the accumulation follows in the second phase. In several steps the accumulation of noise is identified, the necessary noise mitigation measures are derived and the measures are evaluated in an iterative approach.

The guideline developed in the present research project now provides a transparent and simple tool for practice, with which an overall noise assessment can be systematically approached

Summary

Accumulation of noise from different traffic noise sources in complex situations

1 Introduction

Especially in urban areas, people are affected by the noise of not only a single mode of traffic (road, rail, air, ship), but by multiple sources of different traffic types and different responsibility. Noise is not only caused by multiple sources, it also affects people from different directions and with different temporal and spectral structures.

The research project “Accumulation of noise from different traffic noise sources in complex situations” deals with bundling situations in which at least two modes of transport influence the immission situation. In this context, a uniform approach for cross-modal consideration of noise pollution is being developed.

2 Basics on noise accumulation

Noise accumulations are systematically analysed based on various model calculations in order to determine relevant influencing factors as well as approaches for noise mitigation measures. In addition, a systematic analysis of possible situation with an occurrence of noise accumulation was carried out.

2.1 Theory of noise accumulation and noise mitigation in the case of cumulation

In a first theoretical consideration, a noise model without screening is used to investigate the influence of different crossing angles or distances of two equally loud noise sources on their contribution to the overall noise level. In summary, the area in which a single source has a significant influence on the overall noise level heavily depends on the crossing angle and distance. However, the area in which noise mitigations can have a relevant effect depends also on the structural design of this area (buildings, screening, location of receiver points).

The spatial area in which noise mitigation can act in case of noise accumulation is therefore limited.

Based on a simplified tabular evaluation, the possible noise level reduction based on the share of two noise levels on the overall noise level is shown. It becomes clear that measures taken at one noise source do not result in a relevant overall noise level reduction when the other noise source dominates. Even noise reductions of 10 dB are mainly effective where a source has a high share of the overall noise level.

For various model areas, an evaluation is carried out on the share of two noise sources depending on their emission compared to a reference scenario. By this, the sensitivity on the occurrence of a noise accumulation is examined. Even minor changes in emissions could lead to noise accumulation in a situation previously not identified as an accumulation or, vice versa, can change a noise accumulation to the dominance of a single noise source.

2.2 Occurrence of noise accumulation

To assess the practical significance of noise accumulations, various areas are identified in Germany where multiple noise sources have a relevant contribution to the overall noise situation. In this case, a relevant contribution means that a noise source is at least perceptibly contributing to the overall noise level. The relevance is also defined by the exceedance of noise limits and the occurrence of a conflict situation with high noise levels.

In a first step, a systematic analysis of selected noise mappings and noise action plans of the environmental noise directive (END) is carried out. The analysis of 13 cities and 19 noise action plans shows that overall noise or multiple exposures are rarely covered. In most cases, only short passages are found that name general areas with the exposure to multiple noise source. The topic of overall noise and multiple exposures is only negligibly covered in the context of noise action planning. Therefore, indications for the planning of measures in the case of multiple sources cannot rely on noise action planning.

Based on the examined documents e.g. from the noise mapping and noise action planning, exemplary areas are identified in which an exposure from different traffic noise sources can be expected.

These areas are the basis of model areas used in further detailed investigations. For the model calculations carried out in the project, different types of areas are derived: “inner city area with dense, closed building development”, “suburban area with dense, open development” and “rural area with loose development”. The arrangement of noise sources distinguishes situations with “crossing dominant noise sources” (at different angles), “parallel noise sources in combined location” (both adjacent to buildings and with buildings between the noise sources) and “areas enclosed by noise sources” where noise acts from different directions.

2.3 In-situ measurements

In addition to theoretical approaches, in-situ measurements were intended in the scope of the project at a crossing location of road and railway to gain indications on special characteristics of noise accumulation especially when the average sound level results from short periods with high noise levels. A noise mitigation measure on the noise emission of the dominant noise source, in this case railway, could result in a significant change in average noise levels but would only be effective during train passages. On the other hand, the same level of mitigation on the road could result in no relevant change of average noise levels but would be perceptible for the whole time between train passages.

3 Basics for the calculation and assessment of noise

Building on the basics of noise accumulation and the first recommendations, further basics were summarized especially regarding noise calculations and assessment for noise from different sources.

In order to have a basis for noise assessment, various guidelines and laws define noise limits based on different criteria. The assessment of noise can also be carried out based on noise effects like noise annoyance and noise-dependent health effects.

The determination of noise levels based on computational models is usually the basis for the actual assessment. Various methods exist for noise

level calculations that differ in several aspects. Also for the combination of noise from multiple sources various methods exist that can lead to differences in the assessment. For noise level calculation as well as for noise combination, a selection of methods was compared via model calculations.

For an evaluation of a noise situation, especially regarding the evaluation of different noise mitigation measures, quantitative methods are necessary. Depending on different target parameters, these methods allow a prioritization and evaluation of measures e.g. under benefit-cost aspects. There are several methods of allocating costs for mitigation of multiple noise sources.

The basics on noise accumulation (chapter 2 of the final report) and the calculation and assessment of noise (chapter 3 of the final report) clearly show that the superposition of different traffic noise sources and overall noise have a high complexity. For an adequate assessment it is advisable to assess each individual case.

4 Procedure for noise mitigation in the case of noise cumulation

Aim of the research project is to develop a procedure for an assessment of noise and mitigation measures in situations with multiple traffic noise sources. The evaluation of model areas shows that the occurrence of noise accumulation depends on various factors. As no general validity on effective noise mitigation measures can be derived from the model calculation results, a general approach was aimed at that gives assistance for the analysis of the noise impact situation as well as for the evaluation of noise mitigation measures and scenarios.

Due to the current legal situation, a method will be developed that is independent from legal regulations but can still give a binding and yet practicable instruction. For this, methods are used that are independent from certain noise calculations, methods for combination of noise and methods for noise assessment. By this, the procedure shall remain applicable even when legal bases change. As a foundation for the procedure of analysis and assessment with the given premises, essentially two methods will be introduced:

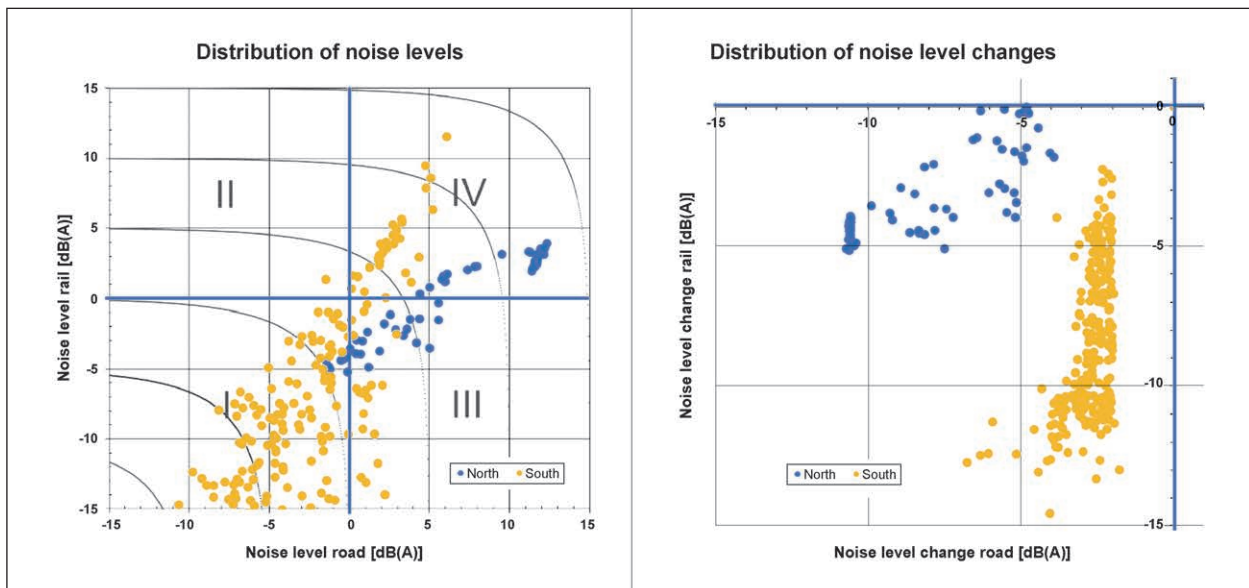


Fig. 1: Exemplary noise level distribution (road and rail)

Left: Noise levels of road traffic are plotted on the x-axis, noise levels of rail traffic on the y-axis for single receiver points or buildings. Two groups of receivers are distinguishable (e.g. north and south of a railway track). Accumulation of noise (relevant influence of both noise sources) occurs in sector IV, upper right of the diagram.

Right: On both axis the noise level change after a mitigation measure is plotted in comparison to an initial situation, road traffic on the x-axis, railway traffic on the y-axis.

- With a diagram of the noise level distribution (figure 1, left) a situation (current or variation after mitigation) can be assessed regarding the chosen noise limits and the necessary mitigation measures.
- With a diagram of noise level changes (figure 1, right) the effect of noise mitigation measures can be assessed.

5 Guideline on noise accumulation

For the assessment of an accumulation of noise from different traffic noise sources in complex situations, a two-step process is proposed in the form of a guideline. First the occurrence of a noise accumulation and the conditions for the application of the process are tested. If conditions are met, an examination process for two relevant noise sources is carried out to identify noise mitigation measures.

The preliminary phase (first stage) consists of four steps. After the first draft of the investigation area, a computational model for noise calculations is created. For the further definition of the investigation area, it is narrowed down to the area of possible noise accumulation. If neither aircraft nor ship noise

is dominant or if appropriate noise mitigation measures can be found, the process on noise accumulation will continue.

The main phase with the assessment of the noise calculation and measure evaluation (second stage) consists of seven steps. Within this phase, several steps may be repeated. The process is based on an evaluation of two relevant noise sources (e.g. rail and road). Calculation results from the preliminary phase will be displayed in the diagram of noise level distribution (see figure 1). The initial assessment is meant to determine the existence of a noise accumulation in general. By the division of the diagram into four sectors, the influence of each traffic noise source on the overall noise situation can be easily determined. In sector IV, both sources contribute relevant to the situation. In sector II and III, only one source contributes. Sector I shows no relevance for the noise sources examined.

For the receiver points or groups of receiver points, reduction goals are defined. By this definition, the noise mitigation measures can be derived for a first evaluation. The following steps can be carried out repeatedly until suitable measures are found.

For each variant of mitigation measures an evaluation is performed according to previously defined characteristic criteria. In general, all

methods of impact evaluation can be applied that are used e.g. in the scope of cost-benefit-analysis. In case that a single measure variant cannot solve all noise conflicts, measures can be combined for evaluation.

In case target values are not met with the mitigation measures and possible combinations, the remaining conflicts are analysed. If after further evaluation solving those conflicts is not feasible or highly uneconomically, a new definition of reduction goals can be necessary. A repeated evaluation has also to be taken into account, if no measures show an adequate cost-benefit-ratio.

In case the criteria for noise level reduction are met, a final evaluation of variants is carried out. Part of this is a cost-benefit-analysis.

(achievement of the protection goal) and efficiency (cost-benefit analysis).

The guidelines developed in this research project provide a transparent and simple tool practically applicable to perform a systematic overall noise analysis.

6 Conclusion

In Germany multiple noise exposures or overall noise is not considered in a standardized manner. The VDI 3722-2 offers a first approach that allows the cross-modal determination of an overall noise exposure by integrating the effect of noise disturbance. Nevertheless, an integration into national law is still missing and the VDI only accounts for noise annoyance and sleep disturbance.

This research project proposes a procedure for the consideration of overall noise. As basic methods, diagrams of noise level distribution and noise level changes are introduced. The resulting guideline provides a transparent and practical recommendation how to handle the accumulation of noise in individual cases.

In the first phase, the occurrence of a dominance of aircraft noise or noise from ships is examined. If the area is not dominated by those noise sources (or feasible noise mitigation measures exist to ensure this), the guidelines define an evaluation procedure for two relevant types of traffic noise sources in the second phase. By analysing the noise level distribution, the extent of accumulation is identified and an identification and evaluation of noise mitigation measures is carried out, possibly with multiple iterations. Within the final assessment, the guideline also gives indications for an appropriate consideration of variations of noise mitigation measures, taking into account the effectivity

Inhalt

1	Einleitung	11	2.4.6	Wirkungsabschätzung zu Minderungsmaßnahmen	45
2	Grundlagen der Lärmkumulation ...	12	2.5	Fazit und erste Empfehlungen	46
2.1	Theorie zur Lärmkumulation und zur Lärminderung bei Kumulation	13	3	Grundlagen der Berechnung und Bewertung von Lärm	47
2.1.1	Einflussbereich zweier Quellen	13	3.1	Bewertung der Lärmbelastung	47
2.1.2	Einfluss des Quellanteils auf die erzielbare Pegelminderung	15	3.1.1	Forschung zur Lärmwirkung	48
2.1.3	Grad der Kumulation	16	3.1.2	VDI 3722-2	49
2.1.4	Unterschiede in den Beurteilungszeiträumen	17	3.1.3	Schutzziele	50
2.1.5	Zeitstruktur und zeitliche Dominanz ...	18	3.2	Ermittlung der Lärmbelastung	52
2.1.6	Zwischenfazit	19	3.2.1	Lärmberechnung	52
2.2	Auftreten von Lärmkumulationen	19	3.2.2	Kombination mehrerer Quellen	54
2.2.1	Analyse zu Konfliktsituationen in Lärmaktionsplänen und Lärmkartierungen	20	3.2.3	Vergleichende Betrachtungen	56
2.2.2	Exemplarische Detailauswertung zu Lärmkumulationen	29	3.2.4	Einschätzung zu Aufwand und Nutzen	60
2.2.3	Exemplarische Gebiete für Lärmkumulationen	32	3.2.5	Fazit und Empfehlungen	62
2.3	Auswertung von Lärmkumulationen in Modellgebieten	37	3.3	Bewertung von Nutzen und Kosten sowie Kostenverteilungen	63
2.3.1	Überführung der exemplarischen Gebiete in Modellgebiete	37	3.3.1	Grundlagen zur Bewertung von Nutzen und Kosten	64
2.3.2	Modellbildung und Berechnungen ...	37	3.3.2	Methoden zur Ermittlung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses	67
2.3.3	Schlussfolgerungen aus den Modellrechnungen	38	3.3.3	Methoden zur Kostenverteilung	72
2.3.4	Zwischenfazit	38	3.3.4	Zwischenfazit	76
2.4	In-Situ-Messung im Bereich einer Lärmkumulation	39	3.4	Maßnahmen zum Lärmschutz	76
2.4.1	Messort und Eingangsdaten	39	3.4.1	Maßnahmen des Landverkehrs (Straße/Schiene)	77
2.4.2	Auswertung	41	3.4.2	Emissionswirksame Maßnahmen des Straßenverkehrs	84
2.4.3	Berechnete Schallpegel	42	3.4.3	Emissionswirksame Maßnahmen des Schienenverkehrs	85
2.4.4	Übersicht über die Messwerte und berechnete Beurteilungspegel	43	3.4.4	Maßnahmen des Flugverkehrs	86
2.4.5	Bewertung der Ergebnisse aus Messungen und Berechnungen	44	3.4.5	Maßnahmen des Schiffsverkehrs	87
			3.4.6	Städtebauliche und architektonische Maßnahmen	87
			3.4.7	Zusammenfassung	88

4	Verfahren zur Lärminderung bei Lärmkumulation	89	6.1.10	Zweite Prüfung auf Zielwerterreichung (Schritt 6, Wiederholung)	113
4.1	Pegelverteilung zweier dominanter Quellen	90	6.1.11	Abschließende Bewertung und Nutzen-Kosten-Analyse (Schritt 7)	113
4.2	Pegelverteilung bei mehr als zwei Quellen	91	6.2	Modellgebiet mit Bewertung nach VDI 3722-2	114
4.3	Maßnahmenwirkung	92	6.3	Modellgebiet Messstandort	117
4.4	Kombination der Diagramme	92	6.3.1	Gebietsbeschreibung und Vorprüfung	117
4.5	Anwendung abweichender Methoden	93	6.3.2	Vergleich mit den Messergebnissen	119
4.5.1	Abweichende Berechnungsmethoden (z. B. BUB)	93	6.3.3	Darstellung und Gruppierung (Schritt 1)	119
4.5.2	Abweichende Bewertungsmethoden (z. B. VDI 3722-2)	93	6.3.4	Zielbestimmung und Ableiten von Lärmschutzmaßnahmen (Schritte 2 und 3)	120
4.5.3	Abweichende Dimension der Schwellenwerte (z. B. %HA)	93	6.3.5	Erste Maßnahmenprüfung (Schritt 4)	121
4.6	Nutzen-Kosten-Vergleich	94	6.3.6	Erste Kombination und Bewertung (Schritt 5)	125
5	Leitfaden zur Lärmkumulation	94	6.3.7	Erste Prüfung auf Zielwerterreichung (Schritt 6)	127
5.1	Vorprüfung	94	6.3.8	Zweite Maßnahmenprüfung (Schritt 4, Wiederholung)	127
5.2	Verfahren Lärmkumulation	97	6.3.9	Zweite Prüfung auf Zielwerterreichung und abschließende Bewertung (Schritte 6 und 7)	130
6	Exemplarische Anwendung des Leitfadens	100	6.4	Modellgebiet mit Berechnung nach CNOSSOS-EU/BUB	131
6.1	Modellgebiet paralleler Quellen im ländlichen Bereich	100	6.5	Fazit aus der Anwendung in den Modellgebieten	134
6.1.1	Gebietsbeschreibung	100	7	Zusammenfassung der Ergebnisse	134
6.1.2	Vorprüfung	100	7.1	Grundlagen	134
6.1.3	Darstellung und Gruppierung (Schritt 1)	102	7.2	Maßnahmenwirkung	134
6.1.4	Zielbestimmung und Ableiten von Lärmschutzmaßnahmen (Schritte 2 und 3)	102	7.3	Zeitliche Struktur	135
6.1.5	Erste Maßnahmenprüfung (Schritt 4)	103	7.4	Verfahren	135
6.1.6	Erste Kombination und Bewertung (Schritt 5)	106	8	Fazit	136
6.1.7	Erste Prüfung auf Zielwerterreichung (Schritt 6)	106	Literatur	137	
6.1.8	Zweite Maßnahmenprüfung (Schritt 4, Wiederholung)	107	Bilder	142	
6.1.9	Zweite Kombination und Bewertung (Schritt 5, Wiederholung)	110	Tabellen	146	

1 Einleitung

Gerade in urbanen Situationen sind die Menschen meist nicht nur vom Geräusch eines Verkehrsträgers (Straßen-, Schienen-, Flug- oder Schiffsverkehr), sondern von mehreren Quellen unterschiedlicher Verkehrsträger betroffen, die meist auch noch in der Verantwortung unterschiedlicher Baulastträger liegen. Dabei stammt der Lärm oft nicht nur aus verschiedenen Quellen, er wirkt auch aus unterschiedlichen Richtungen und mit unterschiedlichen zeitlichen und spektralen Strukturen auf die Menschen ein.

Derzeit finden im Rahmen der Lärmvorsorge und der Lärmsanierung verkehrsträgerübergreifende Betrachtungen im Einzelfall statt. Nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie [1] werden die Belastungen durch den Straßen-, den Schienen- und den Flugverkehr getrennt voneinander kartiert. Der vom Schiffsverkehr ausgehende Lärm wird nicht berücksichtigt. In Artikel 3 der EU-Umgebungslärmrichtlinie wird eine „strategische Lärmkarte“ als eine „Karte zur Gesamtbewertung der auf verschiedene Lärmquellen zurückzuführenden Lärmbelastung in einem bestimmten Gebiet oder für die Gesamtprognosen für ein solches Gebiet“ beschrieben. Eine Analyse oder Erhebung der Gesamtlärmbelastung wird jedoch im Rahmen der Umgebungslärmrichtlinie nur sehr vereinzelt umgesetzt.

Die Dimensionierung und die Bewertung von Schutzmaßnahmen erfolgen für jede Lärmquellenart deshalb meist auch unabhängig von den anderen. Bei übergreifender Betrachtung können unter besonderen Umständen allerdings Maßnahmen bei gleichen Kosten optimiert werden. Beispielsweise kann eine Lärmschutzwand entlang einer Parallel-lage Straße/Schiene optimierten Lärmschutz für beide Verkehrswege bieten.

Die Ermittlung der Betroffenheit¹ findet bisher meist ausschließlich auf Grundlage von Immissionsgrenz- oder -richtwerten getrennt nach Schallquellenarten statt. Seit einigen Jahren stellt die VDI 3722-2 [2] Methoden zur Bewertung der Einwirkung unterschiedlicher Geräuschquellenarten zur Verfügung. Gleichzeitig ist eine Betrachtung der Gesamtbelas-

tung aus unterschiedlichen Lärmquellen in den maßgeblichen Richtlinien nicht verankert, auch gibt es keine Grenz-, Richt- oder Orientierungswerte.

Das Forschungsprojekt „Verkehrsträgerübergreifende Lärmkumulation in komplexen Situationen“ behandelt insbesondere Bündelungslagen, in denen mindestens zwei Verkehrsträger auf die Immissions-situation einwirken. In diesem Zusammenhang sind Fragestellungen zu unterschiedlichen Details zu beantworten, um einen einheitlichen Ansatz für eine verkehrsträgerübergreifende Betrachtung der Lärmbelastung zu entwickeln. Hierzu gehören z. B. die Berechnung und Bewertung des Lärms, aber auch Möglichkeiten einer Addition oder anderweitigen Kombination der einzelnen Beiträge der Verkehrsträger.

Für räumliche Situationen unter Einwirken verschiedener Verkehrsträger sollen zudem unterschiedliche Konzepte für den Lärmschutz betrachtet und verglichen werden. Eine wesentliche Frage ist dabei, wie die Wirkung eines auf einzelne Quellen abzielenden Lärmschutzes im Vergleich zu einem auf den Gesamtlärm ausgerichteten Lärmschutz aussieht. Die Theorie zur Lärmkumulation und zur Lärm-minderung (Kapitel 2.1) stellt Grundlagen heraus, die beim Einwirken mehrerer Quellen zu beachten sind. Hierzu gehören insbesondere Aspekte der Quellendominanz, möglicher Minderungswirkungen, aber auch der zeitlichen Struktur der einzelnen Quellarten. Das Auftreten von Lärmkumulationen wird im Rahmen einer Analyse verschiedener Lärmaktionspläne untersucht (Kapitel 2.2.1). Die Öffentlichkeitsbeteiligungen werden auf Hinweise zu Lärmkumulationen geprüft. Zudem werden die Lärmaktionsplanungen grundlegend in Hinblick auf den Umgang mit Mehrfachbelastungen analysiert. Zur Unterstützung der theoretischen Betrachtungen wird im Rahmen einer In-situ-Messung der Kreuzungsbereich zweier Lärmquellen untersucht (Kapitel 2.3 und 2.4). Die Ergebnisse sollen weitere Hinweise auf Besonderheiten bei einer Lärmkumulation geben bzw. hinsichtlich der aus den theoretischen Betrachtungen gewonnenen Aspekte analysiert werden.

Allgemeine Grundlagen zur Ermittlung und Bewertung der Lärmbelastung werden im Anschluss dargestellt (Kapitel 3.1 und 3.2). Hierzu gehören auch Verfahren zur Ermittlung eines Gesamtpegels oder eines geeigneten Maßes der Gesamtbelastung, die aus den verschiedenen Geräuschemittenten (Straßen-, Schienen-, Flug- und Schiffsverkehr) resultie-

¹ Unter „Betroffenheit“ wird in diesem Bericht die „Lärmbelastung über einem vorgegebenen Immissionsgrenzwert“ verstanden.

ren. Darüber hinaus sollen Fragen zur Lärmwirkung insbesondere bei der Überlagerung verschiedener Lärmquellen beleuchtet werden, mit denen auch die Abwägung „Höhe der Pegelüberschreitung“ zur „Anzahl von Lärm Betroffene“ in die Bewertung eingehen könnte. Zur Bewertung von Lärmschutzmaßnahmen werden verschiedene Methoden zur Ermittlung eines Nutzen-Kosten-Verhältnisses vorgestellt, ergänzend auch verschiedene Methoden für eine Kostenverteilung auf die unterschiedlichen Baulastträger (Kapitel 3.3). Ergänzend für die weitere Bearbeitung werden verschiedene Lärminderungsmaßnahmen für die einzelnen Quellen (Straße, Schiene, Flug und Schiff) zusammengetragen (Kapitel 3.4). Da verkehrsträgerübergreifende Lärmschutzmaßnahmen in ihrer Wirkung stark einzelfallbezogen sind, werden Hilfestellungen zur Einschätzung möglicher Wirkungen sowie ein Maßnahmenkatalog für die einzelnen Quellen erarbeitet.

Die in den Kapiteln 2 und 3 erarbeiteten Themen bilden die Grundlage für die Kapitel 4 und 5. Unter Berücksichtigung der zuvor durchgeführten Arbeitsschritte wird ein praktikables Verfahren für eine wirkungsvolle Lärminderung bei Lärmkumulation entwickelt. Dieses soll auf bestehenden Vorschriften aufbauend den Umgang bei Mehrfachbelastungen vereinheitlichen. Für das zu entwickelnde Verfahren werden in Kapitel 4 mehrere Ansätze beschrieben, die die Bewertung einer Situation mit mehreren Lärmquellen unterstützen sollen. Die Auswertungen sowie das Verfahren werden in Kapitel 5 mit ihren einzelnen Prüfschritten in Form eines Leitfadens dargestellt. Eine exemplarische Anwendung des Verfahrens an zwei Modellsituationen in Kapitel 6 demonstriert verschiedene Abläufe sowie Ergebnisse.

Für die Bewertung stehen am Schluss verschiedene Methoden zur Verfügung:

- Das Bewertungsverfahren zur Lärminderung bei Lärmkumulationen bietet Möglichkeiten zur Identifikation von Lärmkumulationen und eine Analyse hinsichtlich der notwendigen Lärmschutzmaßnahmen.
- Die notwendigen Lärmschutzmaßnahmen können anhand eines Maßnahmenkatalogs sowie Hinweisen zur Wirkung bei mehreren Quellen abgeleitet werden.
- Nutzen-Kosten-Analysen werden zur Priorisierung der Maßnahmen angewandt.

Im Ergebnis steht eine Sammlung verschiedener Methoden zur Anwendung bei Lärmkumulationen zur Verfügung, für die im Leitfaden eine strukturierte Verfahrensweise mit beispielhaft gewählten Beurteilungsmethoden vorgeschlagen wird. Anwendung finden kann dieser in Fällen einer Lärmkumulation, in denen bisher Einzelfallentscheidungen notwendig waren, und somit den Umgang bei Mehrfachbelastungen potenziell vereinheitlichen.

In Kapitel 7 werden die Ergebnisse zusammengefasst. Schließlich wird in Kapitel 8 ein Fazit gezogen.

2 Grundlagen der Lärmkumulation

Nach einer Umfrage des Umweltbundesamtes [3], vgl. auch [4] im Jahr 2018 fühlen sich nur 27 % der Befragten von keiner oder einer Lärmquelle belästigt, mehr als die Hälfte sind hingegen von drei oder mehr Quellen² betroffen. Dominierend hierbei ist der Straßenverkehrslärm, von dem rund 75 % der Befragten betroffen sind, jedoch sind rund 42 % der Befragten auch von Flug- sowie rund 35 % auch von Schienenverkehrslärm betroffen.

In diesem Forschungsvorhaben soll der Verkehrslärm schwerpunktmäßig betrachtet werden. Eine Lärmkumulation stellt sich daher in erster Näherung als das Einwirken von Lärm aus unterschiedlichen Quellen des Verkehrs (Straße, Schiene, Flug und Schiff) dar. Es wird dabei davon ausgegangen, dass die Lärmbelastung über einem Schwellenwert liegt und eine Minderung geboten ist bzw. erzielt werden soll.

Neben dem Vorliegen unterschiedlicher Quellen sind auch weitere Aspekte im Rahmen einer Kumulation zu betrachten: So kann der Lärm auch aus unterschiedlichen Richtungen, mit unterschiedlicher zeitlicher Struktur und mit unterschiedlichen Geräuschstrukturen auf die Menschen einwirken.

Als Lärmkumulation soll im Rahmen des Projektes also verallgemeinert das Einwirken von Lärm aus

² In der Befragung wurde nach der Belästigung durch fünf verschiedene Quellentypen gefragt. Neben dem Verkehrslärm (Straße, Schiene und Flug) sind dies Industrie-/Gewerbelärm sowie Nachbarschaftslärm.

unterschiedlichen (verkehrlichen) Quellen verstanden werden, wobei alle Quellen relevant zur Gesamtbelastung beitragen. Sofern eine Quelle dominiert, d. h. eine Pegelminderung an den übrigen Quellen die Gesamtbelastung nicht relevant vermindert, liegt im Sinne dieses Projektes keine Lärmkumulation vor.

2.1 Theorie zur Lärmkumulation und zur Lärminderung bei Kumulation

Anhand vereinfachter Modelle soll geprüft werden, in welchem Umfang bei zwei einwirkenden Quellen eine Lärmkumulation zu erwarten ist. Hierbei ist sowohl die theoretische räumliche Ausdehnung, das heißt der Bereich, in dem beide Quellen annähernd gleich zum Gesamtlärm beitragen, von Interesse als auch die zu erwartende Lärminderung bei verschiedenen Teilpegeln der beiden Quellen.

In einer ersten theoretischen Betrachtung wird ein Modellgebiet ohne Abschirmungen (auch ohne Bebauung) gewählt, mit dem der Einfluss des Kreuzungswinkels (α) beziehungsweise des Abstands (d) zweier gleich lauter Quellen auf den Anteil der Gesamtbelastung untersucht werden soll (siehe Bild 1 und Kapitel 2.1.1).

Anhand einer vereinfachten tabellarischen Auswertung soll die erzielbare Pegelminderung an einem Immissionsort in Abhängigkeit vom jeweiligen Quelleneinfluss ermittelt werden (Kapitel 2.1.2).

Für verschiedene untersuchte Modellgebiete erfolgt eine exemplarische Auswertung der jeweiligen Pegelanteile von zwei Quellen in Abhängigkeit von deren Emission zu einem Referenzfall. Hiermit soll die Sensitivität hinsichtlich des Vorliegens einer Lärmkumulation untersucht werden (Kapitel 2.1.3), wenn sich die Emissionen der Quellen relativ zueinander ändern.

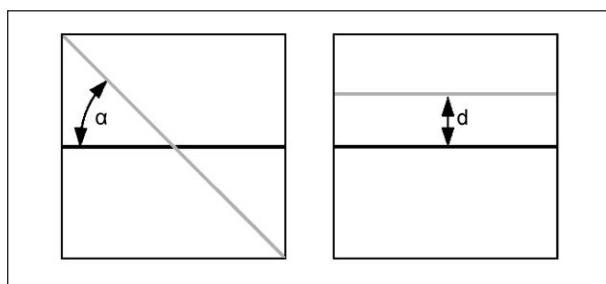


Bild 1: Kreuzungswinkel (α) bzw. Abstand (d) zweier Linienquellen

In den folgenden Bildern sowie auch bei den Darstellungen zu den Modellgebieten werden die Anteile jeweils in einer Blau-Rot-Farbskala mit fünf Stufen dargestellt. Die mittlere Stufe ist in einem Gelbton gehalten. Die Zuordnung der Extreme (Rot = Straße, Blau = Schiene) erfolgt ohne wertenden Hintergrund.

Zusätzlich werden weitere Analysen durchgeführt, die sich auf Situationen mit parallelen Quellen beziehen. Hier werden für verschiedene Höhenniveaus mögliche quellennahe Abschirmungsmaßnahmen untersucht. Diese Analysen werden im Rahmen der Maßnahmen zum Lärmschutz in Kapitel 3.4.1.2 vorgestellt.

2.1.1 Einflussbereich zweier Quellen

Zur theoretischen Betrachtung des Einflusses zweier Quellen wird ein deutlich vereinfachtes Modell mit nur zwei Quellen (zum Beispiel Straße und Schiene) ohne Gebäude erstellt.

Die Quellen sind so gewählt, dass diese die gleichen Emissionspegel aufweisen. Der beobachtete Einfluss ist daher einzig auf die Anordnung der Quellen zueinander zurückzuführen. Als variable Parameter werden der Abstand der Quellen und der Kreuzungswinkel der beiden Quellen in 15°-Schritten verändert.

Insgesamt ergeben sich sieben Varianten mit unterschiedlichem Kreuzungswinkel sowie drei Varianten mit unterschiedlichem Abstand der Quellen.

Dargestellt wird jeweils nur der Bereich, in dem die Summe der Quellen einen bestimmten Schwellenwert überschreitet. Anhand dieser Fläche lässt sich auch bewerten, wie groß der Bereich zum Beispiel einer Richtwertüberschreitung wäre.

2.1.1.1 Variierende Kreuzungswinkel

Ausgehend vom Kreuzungswinkel lässt sich feststellen: Bei gleich lauten Quellen und einem Kreuzungswinkel von 90° liegt der Bereich, in dem die Quellen den gleichen Anteil an der Gesamtbelastung aufweisen (Gelb dargestellt), auf der Winkelhalbierenden bei 45°.

In Bild 2 ist zu erkennen, wie sich die Anteile bei einem sich verringernden Winkel entwickeln: Der Bereich gleicher Anteile liegt weiterhin auf der Winkelhalbierenden (Gelb). Diese Flächen, in denen keine

Quelle über 70 % des Anteils (Dominanz) aufweist, nehmen in ihrer Größe zu (stumpfer Winkel) bzw. ab (spitzer Winkel).

Dies setzt sich insbesondere auch bei kleineren Winkeln fort. Bei einem Kreuzungswinkel von 15° gibt es große Bereiche gleicher Anteile. Dies beschränkt sich jedoch auf den Bereich des stumpfen Winkels zwischen den Quellen.

Bei einer identischen Lage der Quellen (Winkel 0°) ergibt sich ein einfacher akustischer Zusammenhang: Der Anteil jeder Quelle liegt überall bei 50 %.

2.1.1.2 Variierender Abstand

Ausgehend von der letzten Zeile in der Darstellung in Bild 2 soll auch ein zunehmender Abstand paral-

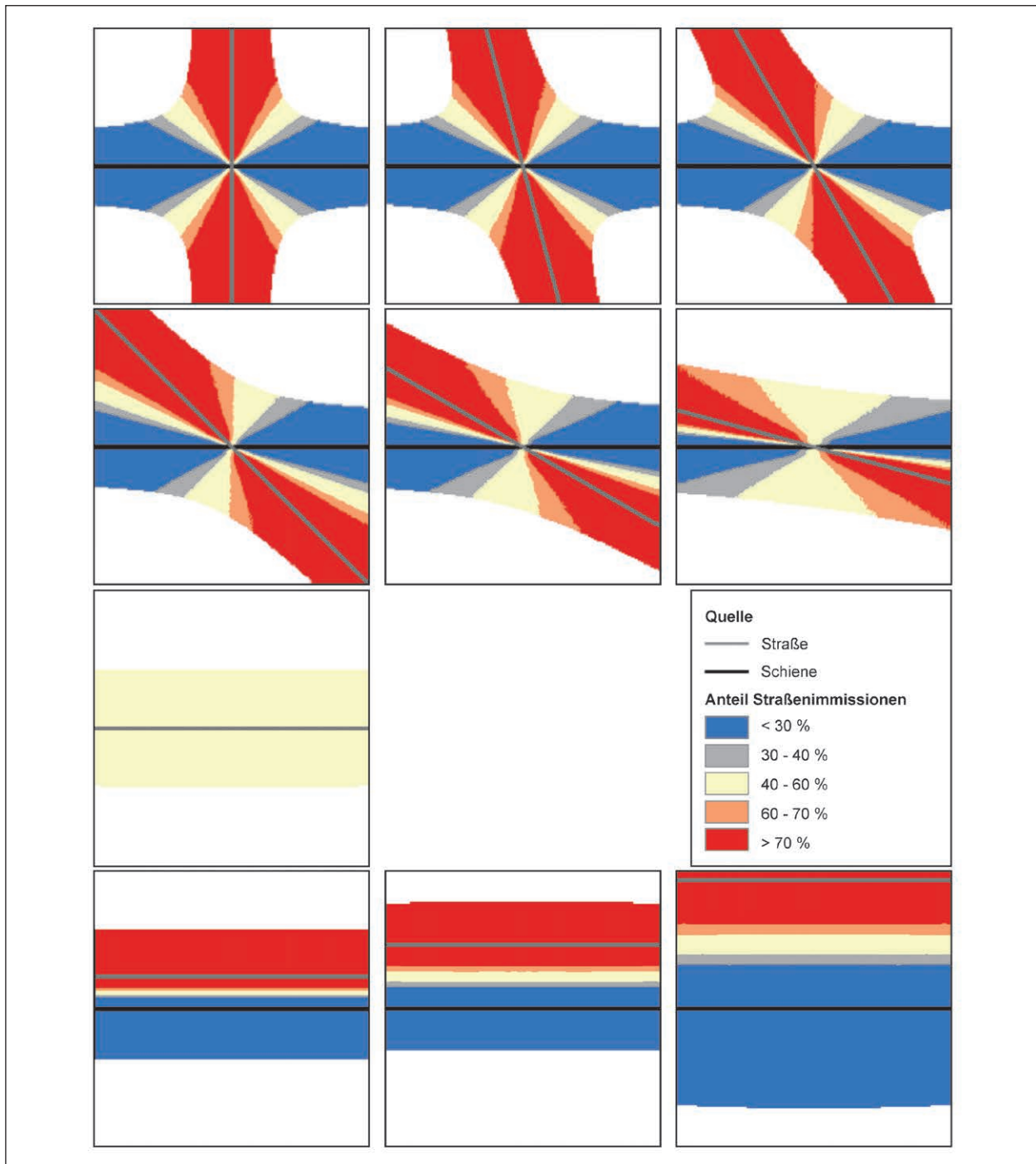


Bild 2: Einfluss des Kreuzungswinkels und des Abstands zweier gleich lauter Quellen (Straße und Schiene) auf den Anteil der Gesamtbelastung; dargestellt ist der Anteil der Straße an der Gesamtlärmimmission. (oben) Kreuzungswinkel $90^\circ - 0^\circ$ in 15° -Schritten (unten) Abstand 100 m/200 m/400 m

leer Quellen betrachtet werden. Der Abstand wird von 100 m jeweils auf 200 m und dann auf 400 m verdoppelt.

Die Ergebnisse zeigen das erwartete Verhalten: Bei gleich lauten Quellen ist der Bereich der gleichen Anteile mittig zwischen den Quellen zu erwarten. Zu beachten ist jedoch jeweils die Größe dieses Bereichs. Bei nahe beieinanderliegenden Quellen ist dieser sehr schmal ausgebildet, bei höheren Abständen der Quellen voneinander ist dieser deutlich größer.

2.1.2 Einfluss des Quellanteils auf die erzielbare Pegelminderung

Der Einfluss des Quellenanteils auf die zu erzielende Pegelminderung eines von zwei Quellen bestimmten Gesamtpegels soll anhand einer einfachen tabellarischen Auswertung in Bild 3 dargestellt werden:

- In der ersten Spalte ist der für jede Zeile variierende Anteil der Quelle 1 in 5%-Schritten aufgeführt.
- Die folgenden zwei Spalten zeigen den jeweiligen Teilpegel der Quellen 1 und 2 bei einem konstanten Gesamtpegel (hier als Beispiel 60 dB(A)).
- In den übrigen Spalten sind die resultierenden Pegelminderungen des Gesamtpegels angegeben,

ben, die sich bei einer Reduzierung der Quelle 1 um die genannte Minderung (in dB) ergeben.

Eine Angabe von „-3“ in der Tabelle bedeutet damit, dass (ausgehend von einem beispielhaft angenommenen Gesamtpegel von 60 dB(A)) ein neuer Gesamtpegel von 57 dB(A) erreicht wird. Dargestellt wird eine exemplarische Gesamtpegelminderung, die sich bei einer Maßnahme allein an der Quelle 1 einstellt. Hierbei kann vereinfacht von einer Maßnahme ausgegangen werden, die sich auf die Emission bezieht.

Bei einem Anteil der Quelle 1 von 100 % (erste Zeile) entspricht die zu erzielende Minderung des Gesamtpegels der angesetzten Emissionsminderung. Die Gesamtpegelminderung nimmt dabei bei größeren Minderungen (z. B. in der Spalte „10 dB“) mit abnehmendem Anteil der Quelle 1 deutlich schneller ab als bei geringen Pegelminderungen (z. B. in der Spalte „1 dB“). Bei einer angesetzten Emissionsminderung von 1 dB liegt die erzielte Pegelminderung bei einem Quellanteil von 85 % noch bei 0,8 dB. Bei einer angesetzten Emissionsminderung von 8 dB liegt die zu erzielende Pegelminderung lediglich bei 5,5 dB.

In der Tabelle (Bild 3) mit Linien hervorgehoben sind exemplarisch zwei Verläufe, die jeweils eine zu erzielende Pegelminderung von 1 dB beziehungsweise 3 dB kennzeichnen. Aus dem Verlauf lässt sich ablesen, welche Emissionsminderung für den ge-

Anteil Quelle 1	Teilpegel Quelle 1 in dB(A)	Teilpegel Quelle 2 in dB(A)	Minderung an Quelle 1 um x dB										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20
100%	60,0	-99,0	-1,0	-2,0	-3,0	-4,0	-5,0	-6,0	-7,0	-8,0	-9,0	-10,0	-20,0
95%	59,8	47,0	-0,9	-1,9	-2,8	-3,7	-4,6	-5,4	-6,2	-7,0	-7,7	-8,4	-12,3
90%	59,5	50,0	-0,9	-1,8	-2,6	-3,4	-4,1	-4,9	-5,5	-6,2	-6,7	-7,2	-9,6
85%	59,3	51,8	-0,8	-1,6	-2,4	-3,1	-3,8	-4,4	-5,0	-5,5	-5,9	-6,3	-8,0
80%	59,0	53,0	-0,8	-1,5	-2,2	-2,9	-3,4	-4,0	-4,4	-4,9	-5,2	-5,5	-6,8
75%	58,8	54,0	-0,7	-1,4	-2,0	-2,6	-3,1	-3,6	-4,0	-4,3	-4,6	-4,9	-5,9
70%	58,5	54,8	-0,7	-1,3	-1,9	-2,4	-2,8	-3,2	-3,6	-3,9	-4,1	-4,3	-5,1
65%	58,1	55,4	-0,6	-1,2	-1,7	-2,2	-2,6	-2,9	-3,2	-3,4	-3,6	-3,8	-4,5
60%	57,8	56,0	-0,6	-1,1	-1,5	-1,9	-2,3	-2,6	-2,8	-3,1	-3,2	-3,4	-3,9
55%	57,4	56,5	-0,5	-1,0	-1,4	-1,7	-2,0	-2,3	-2,5	-2,7	-2,8	-3,0	-3,4
50%	57,0	57,0	-0,5	-0,9	-1,2	-1,6	-1,8	-2,0	-2,2	-2,4	-2,5	-2,6	-3,0
45%	56,5	57,4	-0,4	-0,8	-1,1	-1,4	-1,6	-1,8	-1,9	-2,1	-2,2	-2,3	-2,6
40%	56,0	57,8	-0,4	-0,7	-1,0	-1,2	-1,4	-1,5	-1,7	-1,8	-1,9	-1,9	-2,2
35%	55,4	58,1	-0,3	-0,6	-0,8	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	-1,6	-1,8
30%	54,8	58,5	-0,3	-0,5	-0,7	-0,9	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,5
25%	54,0	58,8	-0,2	-0,4	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0	-1,0	-1,1	-1,1	-1,2
20%	53,0	59,0	-0,2	-0,3	-0,5	-0,6	-0,6	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,9	-1,0
15%	51,8	59,3	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,7
10%	50,0	59,5	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5
5%	47,0	59,8	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
0%	-99,0	60,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Bild 3: Erzielbare Gesamtpegelminderung eines von zwei Quellen bestimmten Gesamtpegels in Abhängigkeit der Quellenanteile und der Pegelminderung an einer Quelle. Als Gesamtpegel wird konstant 60 dB(A) angesetzt

wünschten Effekt bei einem gegebenen Quellanteil anzusetzen ist. Zum Beispiel muss für eine Pegelminderung von 1 dB bei einem Quellanteil von 50 % eine Emissionsminderung von 2 dB vorgesehen werden, bei einem Anteil von 30 % bereits von 5 dB. Für eine Pegelminderung von 3 dB muss bei einem Quellanteil von 50 % bereits eine Emissionsminderung von rund 20 dB vorgesehen werden.

Ein Pegelabstand zwischen zwei Quellen kann somit spätestens ab 10 dB als ausreichend angesehen werden, um eine Nicht-Relevanz zu begründen. Dies deckt sich z. B. mit der TA Lärm [5], die neben der Pegeldifferenz von 6 dB (Nr. 3.2.1) vor allem den Einwirkungsbereich eine Anlage mit einer Unterschreitung von weniger als 10 dB beschreibt (Nr. 2.2).

2.1.3 Grad der Kumulation

Bei der Gestaltung von Modellgebieten, die in früheren Arbeitsschritten des Projektes entwickelt wurden und von denen eine Auswahl in der exemplarischen Anwendung des Verfahrens (siehe Kapitel 6) eingesetzt wird, wird eine realitätsnahe Emissionsmodellierung sowohl für den Straßen- als auch den Schienenverkehr angestrebt. Dabei sollen Verkehrsmengen gewählt werden, die für eine annähernde Gleichverteilung der Belastungen sorgen. Zur Prüfung, ob die getroffenen Aussagen bei ei-

nem höheren Schienenverkehrspegel (bzw. einem niedrigeren Straßenverkehrspegel) oder bei einem niedrigeren Schienenverkehrspegel (bzw. einem höheren Straßenverkehrspegel) anders ausfallen würden, wird vorab der Anteil der Straße an der Gesamtlärmbelastung ermittelt.

Exemplarisch ist eine solche Darstellung in Bild 4 dargestellt. Hierbei sind die bereits zuvor verwendeten Klassen und Farben gewählt worden (vgl. Bild 4). Für jeden zu betrachtenden Immissionsort (ggf. mehrere pro Gebäudefassade) werden zunächst die Beurteilungspegel des Straßen- und Schienenverkehrslärms ausgewertet und der energetische Anteil des Straßenverkehrs ermittelt. Anschließend werden die prozentualen Anteile der Immissionsorte, die entweder durch Straßenverkehrslärm oder durch Schienenverkehrslärm dominiert werden oder bei dem keiner der beiden Lärmpegel dominiert, bestimmt. Bild 5 ist als Säulendiagramm zu lesen: Pro Spalte (vertikale Säule) ist jeweils aufgetragen, wie groß der Anteil der Immissionsorte mit einer Dominanz des Straßen- (Rottöne) bzw. Schienenverkehrslärms (Blautöne) oder mit etwa gleichen Pegelanteilen (Gelb) ist. Die Ausgangssituation ist in der Mitte des Diagramms bei einer Änderung des Schienenverkehrslärms gegenüber der Referenz von 0 dB zu finden. Mit Änderung der Emissionen des Schienenverkehrs ergeben sich neue Anteile, die in den Spalten links (Abnah-

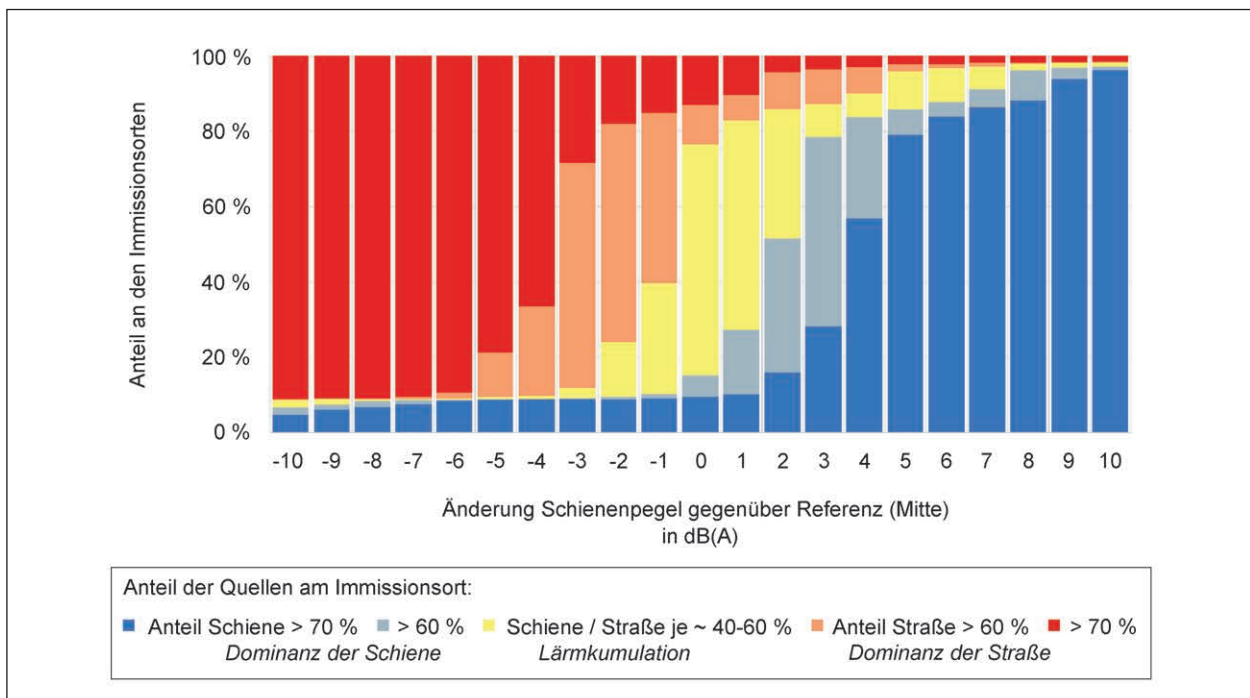


Bild 4: Anteil der Immissionsorte mit Anteil Straße/Schiene am Gesamtpegel in einem exemplarischen Gebiet in Abhängigkeit von unterschiedlichen Schienenpegeln

me des Schienenverkehrslärms) und rechts vom Ausgangszustand (Zunahme des Schienenverkehrslärms) abzulesen sind.

Für die in Bild 5 gezeigte Ausgangssituation (Spalte „0 dB“) ist anhand der gelb gefärbten Bereiche der Säule zu erkennen, dass an ca. 60 % der Immissionsorte keine Dominanz einer Quelle (Schiene oder Straße) vorliegt. An diesen Immissionsorten zeigen Maßnahmen sowohl an Straßen- als auch Schienenverkehrsquellen eine potenziell relevante Wirkung. Details hierzu finden sich in Kapitel 2.1.2. In den rot gefärbten Bereichen der Säule wird der Anteil der Immissionsorte mit einem Anteil des Straßenverkehrs über 60 bzw. 70 % dargestellt. An diesen Immissionsorten können Maßnahmen an der Schiene keine relevante Wirkung entfalten. Dies betrifft in der Ausgangssituation rund 25 % der Immissionsorte. Rund 15 % der Immissionsorte werden durch den Schienenverkehr dominiert (blau gefärbte Säule), hier wirken sich Maßnahmen an der Straße nicht relevant aus.

Bereits bei 2-4 dB geringeren Emissionen des Schienenverkehrs gegenüber der Ausgangssituation („-2 dB“ bis „-4 dB“) wäre der überwiegende Anteil der Immissionsorte dominierend vom Straßenverkehrslärm belastet. Maßnahmen an der Schie-

nenstrecke hätten hier für den überwiegenden Anteil der Immissionsorte keine relevante Wirkung.

Die Darstellung in Bild 5 verdeutlicht, dass der Bereich der Emissionen der Quellen, die zu einer Kumulation führen, relativ schmal ist. Relevante Änderungen in Verkehrsmengen (durch umfangreiche Aus- und Neubauten oder Beschränkungen) sowie an den Fahrwegen können bei einer zuvor nicht als Kumulation identifizierten Situation zu einer Lärmkumulation, oder umgekehrt bei einer Lärmkumulation zu einer Dominanz einer Einzelquelle führen.

2.1.4 Unterschiede in den Beurteilungszeiträumen

Bei der Betrachtung des Lärms anhand von Beurteilungspegeln werden, abhängig von den Rechen- und Beurteilungsvorschriften, unterschiedliche Beurteilungszeiträume betrachtet. Dies sind bei Verkehrslärm der Tagzeitraum (6-22 Uhr) sowie der Nachtzeitraum (22-6 Uhr). In der Umgebungslärmrichtlinie finden sich abweichende Zeiträume (Tag 6-18 Uhr, Abend 18-22 Uhr, Nacht 22-6 Uhr) sowie der Lärmindex L_{DEN} , der ein gewichtetes Mittel der drei Zeiträume darstellt.

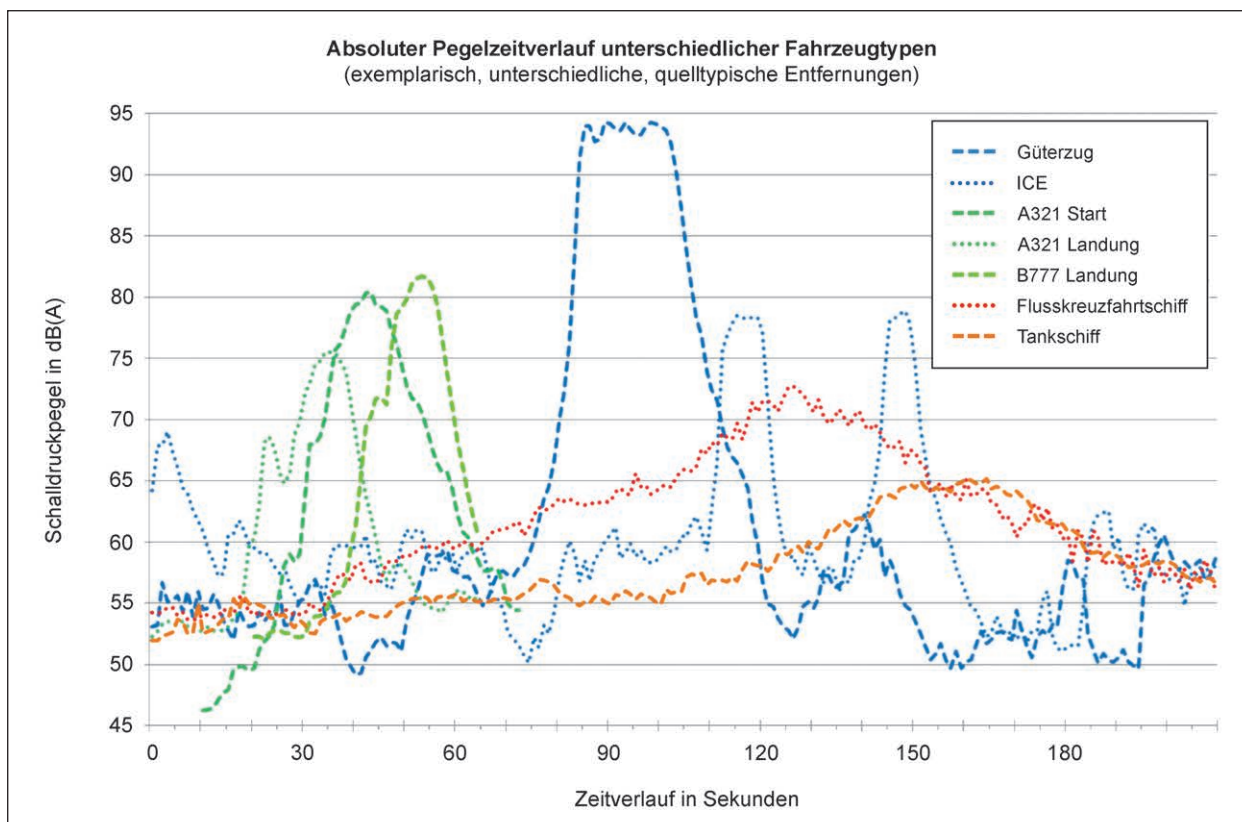


Bild 5: Pegelzeitverlauf unterschiedlicher Fahrzeugtypen

Bei der getrennten Betrachtung des Tag- und Nachtzeitraums sind die Unterschiede in den jeweiligen Emissionen der Verkehrsträger zu berücksichtigen. Während zum Beispiel im Straßenverkehr die Emissionen im Nachtzeitraum meist deutlich zurückgehen (in der Regel um rund 10 dB), kann sich beim Schienenverkehr, abhängig von der jeweiligen Verkehrszusammensetzung, eine deutlich niedrigere Differenz ergeben. In einzelnen Fällen können Bahnstrecken, bei starkem Güterverkehr in der Nacht, im Nachtzeitraum auch höhere Emissionen aufweisen als im Tagzeitraum.

Sofern eine untersuchte Situation somit in einem Zeitraum (Tag oder Nacht) keine Kumulation aufweist, kann die Änderung der Emissionen einen Hinweis darauf geben, ob sich diese Situation im anderem Zeitraum umkehrt (anderer Verkehrsträger dominiert) oder verstärkt (Dominanz nimmt weiter zu).

Im dargestellten Beispiel könnte die Ausgangssituation im Tagzeitraum zum Beispiel im Bereich von „-12 dB“ liegen und somit der Straßenverkehr weitgehend die Immissionen dominieren. Wenn der Schienenverkehr im Nachtzeitraum die gleichen Emissionen aufweist, der Straßenverkehr jedoch 10 dB geringere, wäre der Bereich von „-2 dB“ (der Schienenverkehr hat gegenüber dem Straßenverkehr 10 dB zugenommen) auszuwerten. In diesem Fall läge dann im Nachtzeitraum eine Kumulation vor.

2.1.5 Zeitstruktur und zeitliche Dominanz

Zur Ermittlung eines Beurteilungspegels werden in der Regel Dauerschallpegel herangezogen, die eine energieäquivalente Mittelung über den betrachteten Zeitraum darstellen [6,7]. Einzig das Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm [8] kennt bei der Einrichtung von Lärmschutzbereichen (§ 2) auch fluglärmbedingte Maximalpegel als Kriterium, ergänzend zum äquivalenten Dauerschallpegel.

Die zu betrachtenden Verkehrslärmquellen (Straße, Schiene, Flug und Schiff) weisen jeweils stark unterschiedliche zeitliche Pegelverläufe auf, die unter anderem aus der Anzahl der Quellen, der Geschwindigkeit, der Emission der Einzelquelle sowie dem Abstand zwischen Quelle und Immissionsort resultieren.

Der Flugverkehr weist in der Regel seltene Ereignisse mit hohen Pegeln auf, der Straßenverkehr

zeigt durch das Einwirken meist mehrere Fahrzeuge eine homogenere Charakteristik auf. Im Schienenverkehr können langsame (Güterverkehr) oder schnelle (Personenverkehr) Ereignisse auftreten, die sich auch in der Pegelhöhe unterscheiden. Schiffsverkehr zeichnet sich in der Regel durch eher geringe Emissionen aber eine auch sehr geringe Geschwindigkeit (und eine entsprechend längere Einwirkdauer) aus.

Einige einzelne Fahrzeugtypen für Schienen-, Flug- und Schiffsverkehr sind exemplarisch in Bild 5 dargestellt. Es wurden uns hierzu Daten von der Bundesanstalt für Gewässerkunde sowie vom Flughafen Hamburg zur Verfügung gestellt. Die Daten zum Schienenverkehr entstammen den im Rahmen des Projektes durchgeführten In-situ-Messungen (siehe auch Kapitel 2.4). Die Messungen wurden in unterschiedlichen Entfernungen durchgeführt, die einen üblichen mindesten Quellabstand annehmen.

Das Diagramm gibt einen Eindruck über die unterschiedliche Charakteristik der einzelnen Emittenten. Bereits wenige laute Ereignisse, wie sie im Schienenverkehr auftreten, können den Mittelungspegel deutlich beeinflussen. Der zeitliche Anteil einer Quelle, also jene Zeit, in der diese wahrnehmbar ist, kann sich jedoch stark unterschiedlich darstellen. Dies wird in Kapitel 2.3 und 2.4 weiter verfolgt.

Bei der Bewertung einer Lärmsituation, insbesondere bei Lärmkumulationen, ist eine Betrachtung von Maximalpegeln und Pegelhäufigkeiten nur schwierig in ein systematisches Verfahren zu überführen, da bislang keine Methoden hierfür existieren. Grundsätzlich kann die unterschiedliche Zeitstruktur der Verkehrslärmquellen jedoch die Lärmwahrnehmungen beeinflussen.

Auch im Modell zur Gesamtlärbewertung des UBA [9] werden „einzelereignisorientierte Pegelmaße“ als allenfalls ergänzend gesehen. Zur Berücksichtigung der Belästigungswirkung der einzelnen Verkehrslärmquellen stehen Methoden wie die VDI 3722-2 zur Verfügung (siehe Kapitel 3.1.2). Die Methoden zu einer Bewertung von Lärmkumulationen sollen daher auf einem Mittelungspegel bzw. einem hieraus abgeleiteten geeigneten Maß (z. B. der Belästigung) aufbauen.

2.1.6 Zwischenfazit

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Bereich, in dem eine Quelle einen wesentlichen Einfluss (von mehr als zum Beispiel 35 %, entsprechend einem Pegelabstand von 3 dB) auf den Mittelungspegel hat, sehr deutlich vom Kreuzungswinkel und Abstand der Quellen untereinander abhängt. Von der baulichen Ausgestaltung dieses Bereiches (Gebäudestellung, Abschirmungen, Lage der Immissionsorte) hängt es jedoch auch ab, an welchen Orten eine Pegelminderungsmaßnahme überhaupt wirken kann. Der mögliche effektive Wirkungsbereich einer Minderungsmaßnahme bezogen auf eine Lärmkumulation ist im Ergebnis daher meist räumlich stark begrenzt.

Bei der rechnerisch theoretischen Betrachtung der möglichen Pegelminderung je nach Quellanteil zeigt sich deutlich der Effekt, der sich durch die Dominanz einer einzelnen Quelle ergibt. Selbst hohe Pegelminderungen von 10 dB wirken ausschließlich dort, wo eine Quelle einen hohen Anteil an der Gesamtbelastung aufweist.

Zusammenfassend kann für emissionsseitige Maßnahmen festgestellt werden:

- Nur in Bereichen mit annähernd gleichen Beurteilungspegeln beider Quellen können relevante Effekte erzielen.
- Dort, wo eine andere Quelle dominiert, ist die erzielbare Pegelminderung durch Maßnahmen zunehmend zu vernachlässigen.
- Sofern eine dominierende Quelle durch Maßnahmen Pegelminderungen erfährt, kann sich eine neue Situation mit Lärmkumulation einstellen, bei der auch Maßnahmen an der zuvor nicht dominierenden Quelle einen relevanten Effekt erzielen können.

Für die im Kapitel 3.3.4 dargestellten Maßnahmenwirkungen ergeben sich, dass die dort genannte Wirkung bei Vorliegen einer Lärmkumulation kritisch in Hinblick auf die Gesamtwirkung gesehen werden muss. Maßnahmen mit einer geringen Wirkung können, bei Dominanz der Quelle, relevant auf den Gesamtpegel wirken. Maßnahmen auch mit hoher Wirkung können in der Gesamtwirkung zu vernachlässigen sein, wenn die Quelle – am zu schützenden Ort – nicht relevant zum Gesamtpegel beiträgt.

In früheren Projektschritten durchgeführte Untersuchungen zeigen, dass das Vorliegen einer Kumula-

tion auch sehr stark davon abhängig ist, wie sich die Emissionen der Quellen zueinander verhalten. Wenn sich in einem Untersuchungsgebiet die Emissionen zweier relevanter Quellen (z. B. Straße und Schiene) um etwa 5 dB zueinander ändern (lautere Straße, leisere Schiene; leisere Straße, lautere Schiene), kann eine Dominanz jeweils einer Quelle eintreten. Eine Kumulation liegt nur zwischen diesen beiden Zuständen vor. Bereits bei geringfügigen Änderungen der Emissionen (z. B. Straße: Lärmarter Asphalt; Schiene: Zunahme Güterverkehr) können sich die rechnerischen Immissionsverhältnisse sehr stark wandeln.

Ungeachtet der Bewertung der Mittelungspegel und davon abgeleiteter Größen kann auch die unterschiedliche Zeitstruktur der verschiedenen Verkehrslärmquellen deutlich abweichende Belästigungsreaktionen hervorrufen.

2.2 Auftreten von Lärmkumulationen

Zur Einschätzung der praktischen Bedeutung der Lärmkumulationen sollen verschiedene Gebiete identifiziert werden, in denen mehrere Lärmquellen relevant einwirken. Relevant bedeutet dabei einerseits, dass die einzelnen Quellen in einem wahrnehmbaren Rahmen zur Gesamtbelastung beitragen. Andererseits sollen nur tatsächliche Konfliktlagen mit hohen Lärmbelastungen betrachtet werden.

Im ersten Schritt der Ermittlung soll eine systematische Prüfung von ausgewählten Lärmkartierungen und Lärmaktionsplanungen nach EU-Umgebungs-lärmrichtlinie durchgeführt werden. Diese sollen auf identifizierte Bereiche von Mehrfachbelastungen untersucht werden, die aus Öffentlichkeitsbeteiligung oder rechnerischen Verfahren ermittelt wurden. Zudem soll allgemein der Umgang mit Mehrfachbelastungen erfasst werden, um ggf. bisher angewandte Verfahren zu identifizieren und zu untersuchen.

Anhand der Daten zur Lärmkartierung der Stadt Köln wird zudem eine systematische rechnerische Prüfung durchgeführt, um mögliche Belastungsschwerpunkte mehrerer Quellen zu identifizieren. Die ermittelten Gebiete werden mit den Belastungen aus den Einzelquellen verglichen, es erfolgt auch ein Abgleich mit der Lärmaktionsplanung und Meldungen aus der Öffentlichkeitsbeteiligung.

Aus den durchgeführten Erhebungen der Lärmaktionspläne werden exemplarische Gebiete identi-

fiziert, die für eine detaillierte Analyse im Rahmen von Modellberechnungen geeignet sind. Ergänzt wird die Auswahl um bekannte Gebiete mit Lärmkumulationen, die vom projektbegleitenden Ausschuss genannt wurden. Anhand der exemplarischen Gebiete wird eine Auswahl an Modellgebieten erstellt, die die wesentlichen Eigenschaften der identifizierten Kumulationsszenarien abbilden sollen. Es werden die Gebiete ausgewählt, in denen gemeinsame Maßnahmen möglich erscheinen. Für diese werden verschiedene Berechnungen mit und ohne Lärmschutzmaßnahmen durchgeführt.

Die Modellgebiete geben damit Hinweise auf einen möglichen Umgang mit Lärmkumulationen, insbesondere bei der Planung und Prüfung von Lärmschutzmaßnahmen. Die Erfahrungen werden für die weitere Entwicklung eines Verfahrens (Kapitel 4) genutzt. Die Funktionsweise des Verfahrens wird an zwei Modellgebieten exemplarisch geprüft und erläutert (Kapitel 4.3).

2.2.1 Analyse zu Konfliktsituationen in Lärmaktionsplänen und Lärmkartierungen

Für eine Auswertung wurden für das Projekt die Untersuchungsgebiete Hamburg, Rhein/Ruhr sowie Rhein/Main betrachtet, in denen eine Überlagerung der vier verkehrlichen Quellen – Straße, Schiene, Flug und Schiff – zu erwarten ist. Der Schiffsverkehr umfasst hierbei sowohl den Binnenschiffsverkehr als auch den Seeschiffsverkehr. Es werden sowohl Mittelstädte (Norderstedt), Großstädte (Essen, Bochum, Oberhausen, Duisburg) als auch Millionenstädte (Hamburg, Köln) untersucht. Für Wiesbaden, Frankfurt am Main sowie Darmstadt liegt ein gemeinsamer Lärmaktionsplan Hessen vor. In der Betrachtung der Stadt Köln liegen auch umfangreiche Ergebnisse aus der Bürgerbeteiligung vor.

2.2.1.1 Untersuchungsgebiet Hamburg

Für das Untersuchungsgebiet Hamburg wurde die Lärmkartierung und die Lärmaktionsplanung der Freien und Hansestadt Hamburg, der direkt westlich angrenzenden Stadt Wedel sowie der direkt nördlich angrenzenden Stadt Norderstedt ausgewertet. Der Seeschiffsverkehr ist hierbei nur für die Freie und Hansestadt Hamburg sowie für Wedel relevant.

Entlang der Elbe liegen als größere Gemeinden in Richtung Nordsee noch Glückstadt (Bevölkerung

rund 12.000) sowie Brunsbüttel (Bevölkerung rund 13.000). Brunsbüttel liegt zudem am Nord-Ostsee-Kanal, eine der meistbefahrenen Wasserstraßen Europas mit überwiegendem Seeschiffverkehr.

Für Glückstadt bestand nach Informationen auf der Internetseite des Landes Schleswig-Holstein³ in den letzten Jahre keine rechtliche Verpflichtung, strategische Lärmkarten auszuarbeiten. Somit konnten keine Hinweise auf Lärmbelastungen durch Seeschiffsverkehr festgestellt werden, aufgrund der Distanz bewohnter Stadtgebiete zum Fahrwasser der Elbe ist ein wesentlicher Einfluss hier jedoch auch nicht zu erwarten.

Der Lärmaktionsplan der Stadt Brunsbüttel [10] erwähnt die Lage der Stadt auch am vielbefahrenen Nord-Ostsee-Kanal. Lärmkonflikte wurden einzig aus Straßenverkehrslärm ermittelt. In den geplanten Maßnahmen zur Lärminderung werden neben dem Verkehrslärm auch Hinweise zu Windenergieanlagen sowie Gewerbe- und Industriebetrieben gegeben, nicht jedoch zum Schiffsverkehr. Aus dem Lärmaktionsplan geht somit auch hier kein Hinweis auf möglichen Schiffsverkehrslärm hervor.

Im Lärmaktionsplan der Stadt Wedel [11] werden ebenfalls keine Hinweise auf Schiffsverkehrslärm gegeben. Nach Auskunft der Bearbeitenden liegt auch keine Meldung aus der Öffentlichkeitsbeteiligung hierzu vor. Auch in den früheren Lärmaktionsplanungen [12,13] fanden sich keine Hinweise hierzu.

Im Lärmaktionsplan der Freien und Hansestadt Hamburg von 2013 [14] werden die drei Verkehrsträger Straße, Schiene und Flug getrennt betrachtet. Es fand sich lediglich bei der Behandlung ruhiger Gebiete ein Verweis auf weitergehende Untersuchungen, die jedoch nicht konkret benannt wurden. Zur Identifikation potenzieller Lärmkumulationen wäre somit die Lärmkartierung auszuwerten. Schiffsverkehr wurde im Lärmaktionsplan nicht untersucht.

Im Strategischen Lärmaktionsplan der Freien und Hansestadt von 2008 [15] werden im Rahmen der Berichte von Arbeitsgruppen an mehreren Stellen Mehrfachbelastungen genannt. Die Arbeitsgruppen tagten im Rahmen der sogenannten Lärmforen, die

³ https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/L/laerm_schutz/_functions/laerm_wrapping.html

zur Unterstützung des Kommunikationsprozesses in der Lärmaktionsplanung als Schnittstelle zwischen Öffentlichkeit, Politik und planender Verwaltung dienen. Aus den Lärmforen liegen die Roh-Daten der Bürgermeldungen vor, in diesen gab es keine Hinweise auf Konflikte mit Schiffsverkehrslärm und (anders als in den Berichten) auch keine direkten Hinweise auf Mehrfachbelastungen.

Im Lärmaktionsplan Norderstedt von 2008 [16] wird eine farbliche Überlagerung verschiedener Lärmarten (Straßenverkehr, Schienenverkehr, Flugverkehr und Gewerbelärm) vorgenommen. Maßgeblich ist jeweils die Überschreitung eines Schwellenwertes von $L_{DEN} > 55$ dB(A). In der tabellarischen Übersicht der umgesetzten und geplanten Maßnahmen

(Anlage 8 des Lärmaktionsplans) ist in einer eigenen Spalte jeweils ein Hinweis auf Mehrfachbelastungen aufgenommen. Bei der Maßnahmenplanung können somit weitere Lärmquellen neben dem Straßenverkehr berücksichtigt werden.

Diese Auswertung wurde für den Lärmaktionsplan von 2013 [17] aktualisiert (siehe Bild 6). Es wird hierbei festgestellt, dass die belasteten Flächen im Vergleich zur vorhergehenden Lärmkartierung deutlich kleiner geworden seien. Eine weitere Betrachtung, die über die Nennung der verbleibenden Überlagerungen hinausgeht, findet nicht statt. Bei der Fortschreibung der noch nicht umgesetzten Maßnahmen ist die Angabe von Mehrfachbelastungen ersatzlos entfallen.

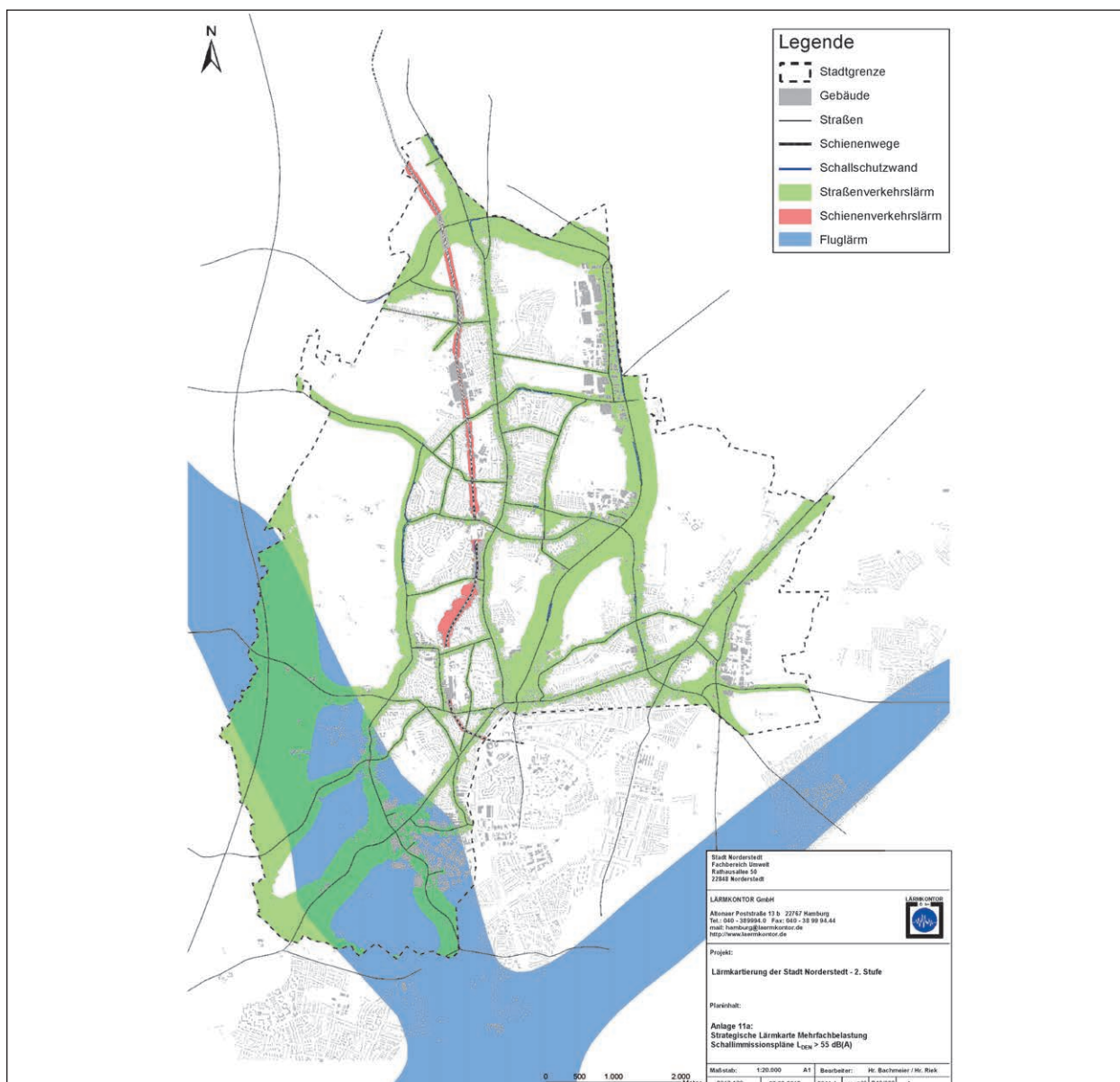


Bild 6: Mehrfachbelastungen im Stadtgebiet Norderstedt, $L_{DEN} > 55$ dB(A) (aus [17])

2.2.1.2 Untersuchungsgebiet Rhein/Ruhr

Für das Untersuchungsgebiet Rhein/Ruhr werden die Lärmaktionspläne der Städte Duisburg, Oberhausen sowie Essen und Bochum betrachtet.

Für den Lärmaktionsplan Duisburg [18] von 2018 wurde eine Analyse der Betroffenenzahlen für Straßen-, Haupteisenbahn- und Straßenbahnverkehr sowie auch für IVU Anlagen und Häfen durchgeführt. Trotz hoher Belastungen durch Haupteisenbahnstrecken im Nachtzeitraum wird im Lärmaktionsplan bei der Wahl der Belastungsschwerpunkte einzig der Straßenverkehrslärm berücksichtigt. Es wurden somit weder Schienenverkehrslärm noch Schiffs- oder Umschlaglärm bei der Einstufung als Belastungsschwerpunkt einbezogen.

Im Rahmen eines Pilotprojektes wurde im Jahr 2010 ein „Integrierter Lärmaktionsplan Duisburg-Nord/Oberhausen“ [19] entwickelt. Zur Belastung durch mehrere Schallquellen (Straßen- und Schienenverkehr) wurde auf eine rein optische Überlagerung der Lärmkarten (vergleichbar mit dem Vorgehen in Norderstedt, siehe Kapitel 2.2.1.1) ausgewichen, da die Berechnungsergebnisse für den Schienenverkehr nicht in ausreichender Datenqualität vorlagen (siehe Bild 7 und Bild 8).

Im 2011 veröffentlichten strategischen Lärmaktionsplan der Stadt Bochum [20] konnte nicht auf die Lärmkartierungsergebnisse des Eisenbahn-Bundesamts (EBA) zurückgegriffen werden. Eine Überlagerung der Lärmpegel zu einem Summenpegel L_{DEN} erfolgte einzig für Straßenverkehr, Straßen- und Stadtbahnen sowie Industrie und Gewerbe

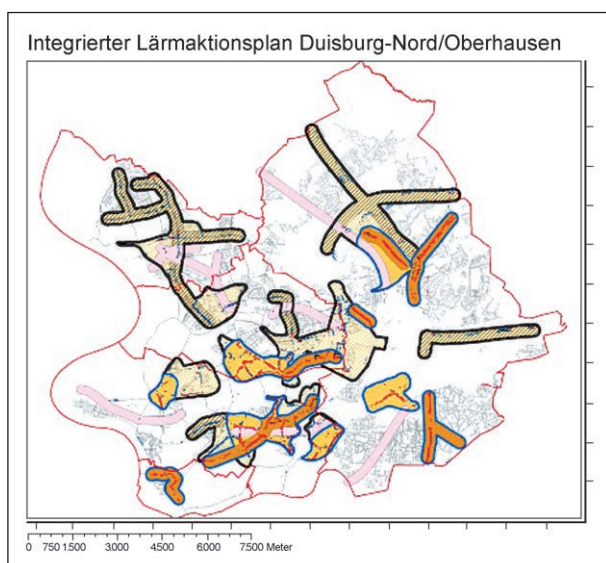


Bild 7: Belastungsachsen- und -räume Duisburg-Nord/Oberhausen (Stand: August 2008) (aus [19])

(IVU/IED-Anlagen). Die Überlagerung wurde dafür genutzt, potenziell ruhige Gebiete ($L_{DEN} \leq 50 \text{ dB(A)}$) zu identifizieren (siehe Bild 9 und Bild 10). Im 2015 aufgestellten detaillierten Lärmaktionsplan der Stadt Bochum [21] fehlten erneut die Ergebnisse des EBA für die 2. Runde der Lärmkartierung. Aus diesem Grund wurde eine Gesamtbelastung aus allen Geräuschquellen der Kartierung (Straße, Schiene, Industrie und Gewerbe) nicht ermittelt.

In der Lärmaktionsplanung der Stadt Essen [22] (2017) wurde ebenfalls eine Überlagerung der einzelnen Lärmquellen zur Identifizierung ruhiger Gebiete gewählt. Hier lagen Straßen-, Schienen- und

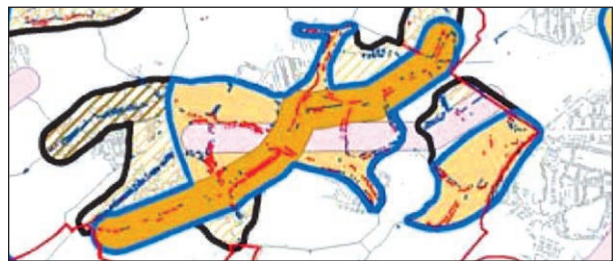


Bild 8: Belastungsachsen und -räume Duisburg-Nord/Oberhausen – Ausschnitt (aus [19])

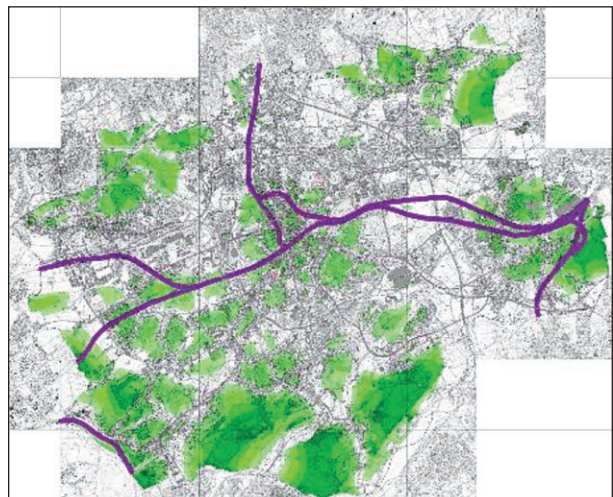


Bild 9: Gesamtbelastung Bochum ohne Schienenwege des Bundes (aus [20])



Bild 10: Gesamtbelastung Bochum ohne Schienenwege des Bundes – Ausschnitt (aus [20])

Fluglärm sowie der Lärm von Industrie und Gewerbeanlagen zu Grunde (siehe Bild 11). Als Kriterium wurde unter anderem ein $L_{DEN} \leq 55$ dB(A) gewählt. Die Ergebnisse wurden u. a. mit Daten aus der Flä-

chenutzungsplanung verschnitten, um z. B. Siedlungsgebiete auszuschließen (ebenfalls Bild 11). Im Ergebnis verbleiben die in Bild 12 dargestellten ruhigen Gebiete.

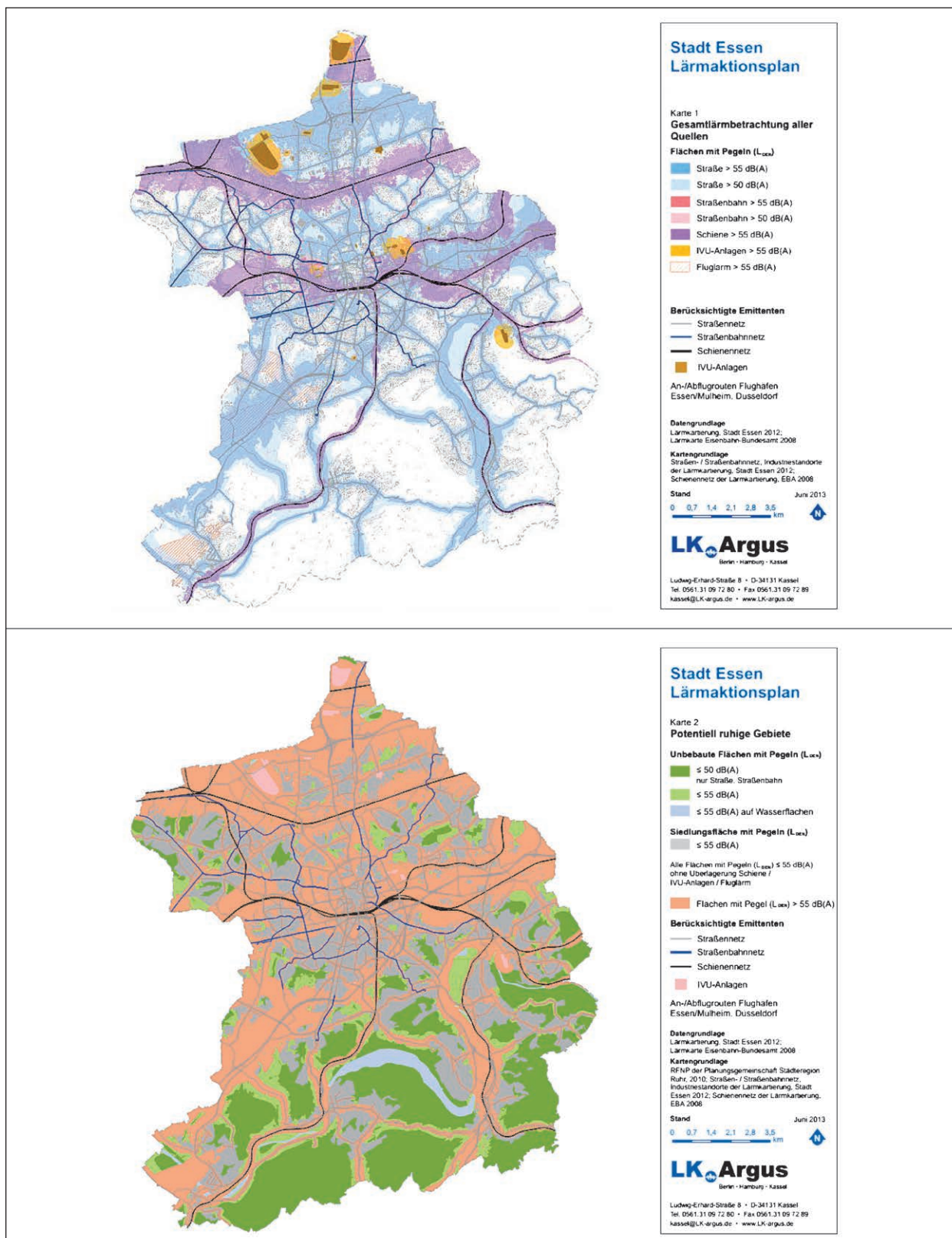


Bild 11: Karten zum „Gutachtenaus den ruhigen Gebieten“ der Stadt Essen (aus [9])

Bereits im Jahr 2013 fand nach Vorstellung der Lärmkartierung zudem eine Onlinebeteiligung statt, in der Lärmkonflikte verortet und kommentiert werden konnten. Die Ergebnisse wurden in einer Synop-

se zusammengefasst und beantwortet. Eine systematische Auswertung ist in der Lärmaktionsplanung nicht erkennbar, Hinweise auf Mehrfachbelastungen sind ebenfalls nicht erfasst bzw. aufzufinden.

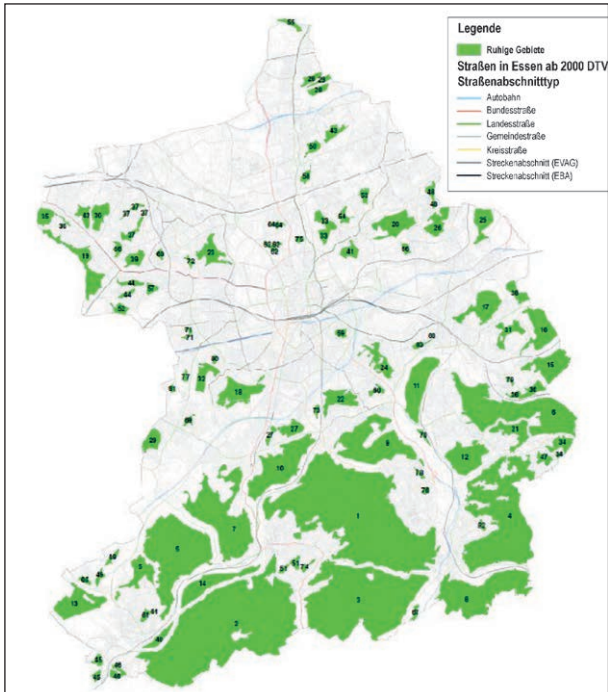


Bild 12: Karte der ruhigen Gebiete der Stadt Essen (aus [22])

2.2.1.3 Untersuchungsgebiet Rhein/Main

Für die Lärmaktionsplanung der Städte Wiesbaden, Frankfurt am Main und Darmstadt liegt der „Lärmaktionsplan Hessen“ [23] des Regierungsbezirks Darmstadt vor. Dieser gliedert sich in die Teilpläne Straßenverkehr (2. Stufe, 2016) und Flughafen Frankfurt/Main (2014). Für Schienenverkehrslärm (in Zuständigkeit des EBA) war (Stand April 2018) die Erstellung bis Mitte 2018 geplant. Aktuell wird vom Regierungspräsidium Darmstadt auf den Lärmaktionsplan des EBA verwiesen⁴. In einem „Nachtragsplan der zweiten Stufe“ [24] (2017) wurden der Teilplan „Eisenbahnverkehr und Gelände für industrielle Tätigkeiten“ nachgeliefert. Eine Überlagerung

⁴ <https://rp-darmstadt.hessen.de/planung/verkehr/umgebungs%3%A4rm/schienenverkehrs%3%A4rm>, Stand 28.05.2019

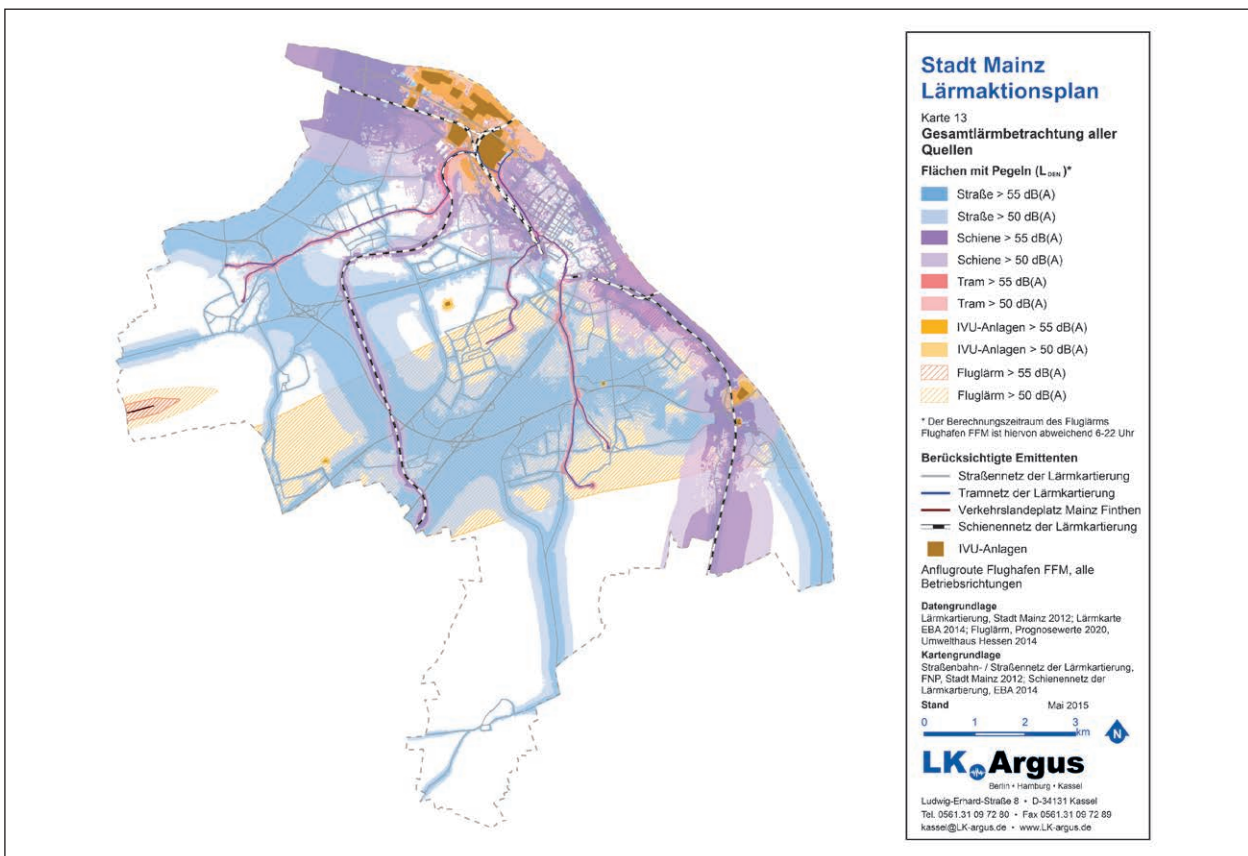


Bild 13: Gesamtlärmbetrachtung aller Quellen – Stadt Mainz [25]

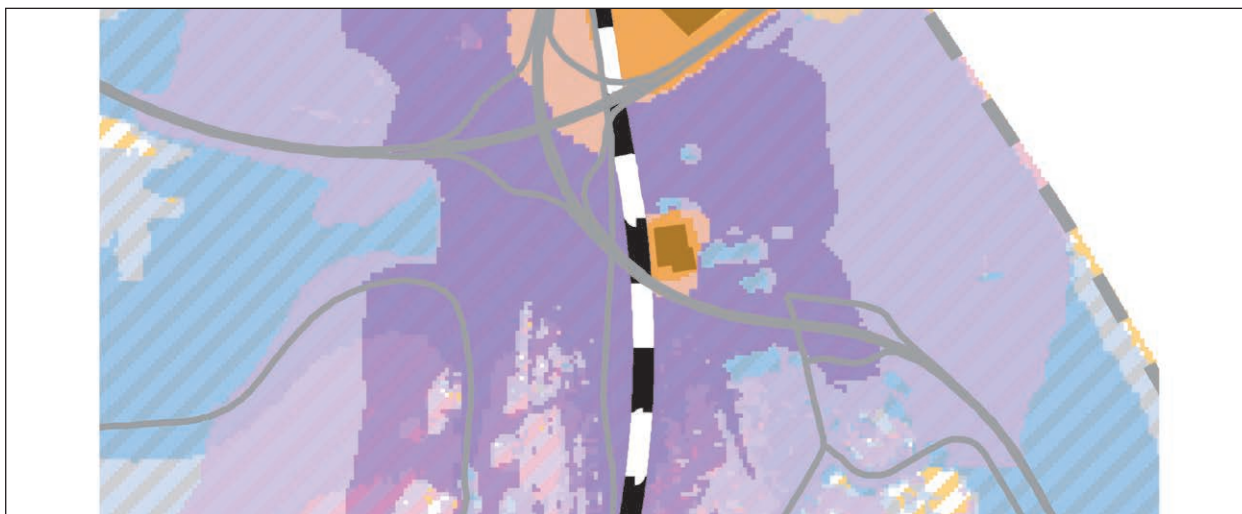


Bild 14: Gesamtlärmbetrachtung aller Quellen – Stadt Mainz – Ausschnitt [25]

oder Gesamtlärmbetrachtung findet erkennbar nicht statt.

In der Fortschreibung des Lärmaktionsplans der Landeshauptstadt Mainz [25] von 2016 wurden zusätzlich zu den Betroffenen aus Straßen- und Straßenbahnverkehr auch die Belasteten bei einer Addition der Lärmpegel ermittelt. Es ergeben sich nach Lärmaktionsplan zusätzlich zu den einfach belasteten Gebäuden an weiteren Gebäuden Schwellenwertüberschreitungen ($L_{DEN} \geq 65 \text{ dB(A)}$, $L_{Night} \geq 55 \text{ dB(A)}$). Zusätzlich zur Addition von Straße und Straßenbahn wurde auch eine Überlagerung mit den Quellen Schiene, IVU-Anlagen und Flug vorgenommen (siehe Bild 13 und Bild 14). Eine Priorisierung der Maßnahmenbereiche erfolgte jedoch einzig anhand des Straßen- und Straßenbahnverkehrs.

2.2.1.4 Untersuchungsgebiet Köln

Im Lärmaktionsplan der Stadt Köln in der 2. Stufe [26] findet sich eine zusammenfassende Darstellung der Belastungsschwerpunkte. Diese wurden sowohl getrennt als auch in Kombination festgestellt (siehe Bild 16). Es wurden Konflikte mehrerer Quellen sowohl für Straßen- und Schienenverkehr als auch für Straßen- und Flugverkehr identifiziert.

Aus der Lärmaktionsplanung liegt auch ein Plan mit allen Vorschlägen aus der ersten Onlinebeteiligungsphase vor (Bild 17). Es wurden über 1.600 Vorschläge eingebracht, vorwiegend zum Straßenverkehrslärm (48 %), zum Fluglärm mit 16 % gefolgt vom Schienenverkehrslärm mit 13 % (DB) und zur „Hafen und Güterverkehr Köln AG“ (HGK) sowie zur

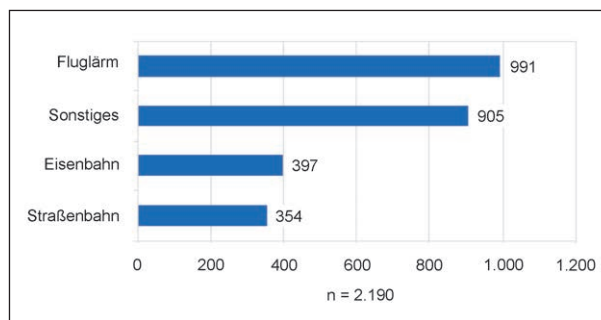


Bild 15: Lärmaktionsplan Köln, Auswertung der Frage „Welcher Lärm neben dem Straßenverkehr stört Sie hier auch?“ (aus [27])

Stadtbahn mit 5 %. Bei einer Auswertung der Konfliktbereiche zeigte sich, dass die Bereiche mit Beschwerden sowohl zu Straßen- als auch Schienenverkehr in der Regel in Kreuzungsbereichen beider Verkehrswege liegen.

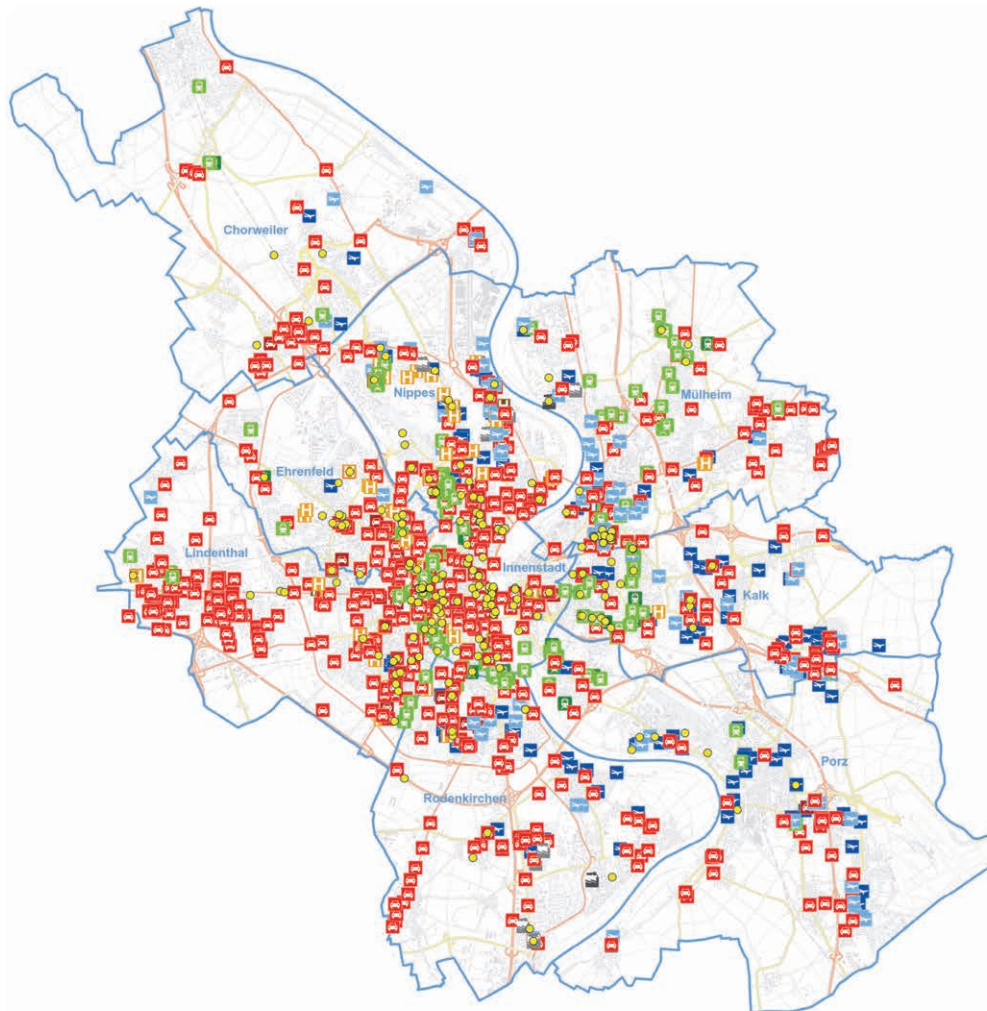
Im Rahmen des Lärmaktionsplans der Stadt Köln in der 3. Stufe [27] wurde eine erneute Öffentlichkeitsbeteiligung durchgeführt. Neben der Angabe eines Ortes, der besonders durch Straßenverkehrslärm belastet ist, erhielten die Teilnehmenden auch die Möglichkeit, weitere störende Lärmquellen zu benennen. Fast 50 % der Teilnehmenden nannten zusätzlich den Flugverkehr, jeweils rund 20 % den Eisenbahn- bzw. Straßenbahnverkehr (siehe auch Bild 15).

In rheinnahen Gebieten wurde laut Lärmaktionsplan „vereinzelt auch der Schiffsverkehr als Lärmquelle genannt“. Darüber hinaus wird der Schiffsverkehrslärm einzig für einzelne ruhige Gebiete (aus der 2. Stufe übernommen) als mögliche Lärmbelastung genannt.



Bild 16: Zusammenfassende Darstellung der Belastungsschwerpunkte Köln (aus [26])

Lärmaktionsplanung der Stadt Köln
 Ergebnisse aus der 1. Onlinebeteiligungsphase vom 23.11. - 12.12.2010
Alle Vorschläge



Alle Vorschläge - je Lärmart - 24h und Nacht

Lärm 24 h

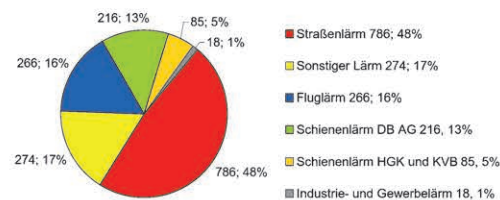
- Straßelärm 24h
- Fluglärm 24h
- Schienenlärm DB-AG 24h
- Schienenlärm HGK und KVB 24h
- Industrie- und Gewerbelärm 24h

Lärm nachts

- Straßelärm Nacht
- Fluglärm Nacht
- Schienenlärm DB-AG Nacht
- Schienenlärm HGK und KVB Nacht
- Industrie- und Gewerbelärm Nacht

Sonstige Lärmarten

Anzahl der Vorschläge nach Lärmart in absoluten Zahlen und in Prozent



Der Oberbürgermeister

Stadt Köln
 Umwelt- und Verbraucherschutzamt

Bild 17: Ergebnisse aus der ersten Onlinebeteiligungsphase – Lärmaktionsplan Köln (aus [26])

2.2.1.5 Zusammenfassung der Auswertung

In den betrachteten Untersuchungsgebieten zeigen sich stark unterschiedliche Ansätze zum Umgang mit Lärm aus mehreren Quellen.

Eine systematische Datenanalyse auf mögliche Mehrfachbelastungen fand nicht durchgängig in den untersuchten Lärmaktionsplanungen statt. Die Nutzung der Berechnungsergebnisse der Lärmkartierung für die einzelnen Quellen erlaubt grundsätzlich eine flächendeckende Analyse möglicher Konfliktbereiche erfolgen. Sofern eine Auswertung zu Mehrfachbelastungen erfolgt, unterscheiden sich diese jeweils stark voneinander.

Neben der Addition einzelner Quellen (Mainz: Straße und Straßenbahn) war vor allem eine optische Überlagerung der Konfliktbereiche zu erkennen (Norderstedt, Duisburg-Nord/Oberhausen, Mainz, Köln). Diese Art der Überlagerung vermeidet im Rahmen der Lärmaktionsplanung die Thematiken „gemeinsame Lärmbewertung“ bzw. „Konflikte bei der Addition aufgrund verschiedener Berechnungsgrundlagen“.

Ebenfalls anzutreffen war eine energetische Addition, um Konfliktbereiche mit hohen Lärmpegeln auszuschließen und potenzielle ruhige Gebiete zu identifizieren (Bochum). Auf Grundlage der veröffentlichten Darstellungen, die nur die resultierenden Ruhigen Gebiete darstellen, ist eine Lokalisierung von Gebieten mit Mehrfachbelastungen jedoch nicht möglich.

Die Öffentlichkeitsbeteiligung der betrachteten Lärmaktionsplanungen fand in stark unterschiedlichem Umfang statt. In den größeren Kommunen (z. B. Köln, Essen) kommen in der Regel Online-Beteiligungen zum Einsatz, bei denen Lärmkonflikte auf einer Karte verortet und kommentiert werden. Ob hierbei Mehrfachbelastungen systematisch erfasst werden, hängt jeweils von der Implementierung ab, die nicht einheitlich ist.

Als Beispiel wurden in Köln in der ersten Onlinebeteiligung die einzelnen Lärmquellen getrennt erfasst, d. h. eine Anmerkung wurde durch die Teilnehmenden einer Lärmquelle zugeordnet. In der zweiten Onlinebefragung wurde gezielt nach Straßenverkehrslärmproblemen gefragt, es wurden jedoch auch Hinweise auf weitere Belastungen abgefragt. In Essen sind aus den veröffentlichten Ergebnissen keine systematischen Zuordnungen erkennbar.

Hinweise auf Mehrfachbelastungen an Belastungsschwerpunkten wurden nur selten aufgenommen (z. B. in der ersten Lärmaktionsplanung der Stadt Norderstedt). Hiermit ist es möglich, bei der Maßnahmenplanung auch weitere Lärmquellen zu berücksichtigen, sodass ggf. bessere Effekte durch eine Minderung beider Quellen erzielt werden können. Im gefundenen Fall sind die Hinweise in der zweiten Lärmaktionsplanung jedoch wieder ersatzlos entfallen.

Die Kartierung von Schiffsverkehrslärm (Binnen- und Seeschifffahrt) ist nicht im Umfang der Lärmkartierung nach EU-Umgebungslärmrichtlinie enthalten. Somit sind diese Lärmquellen auch in der Lärmaktionsplanung nicht relevant berücksichtigt worden. Nur in einzelnen Fällen gab es Hinweise auf den Schiffsverkehrslärm, zum Beispiel im Zusammenhang mit Ruhigen Gebieten beim Lärmaktionsplan der Stadt Köln.

Insgesamt zeigt die Analyse von 13 Städten und 19 Lärmaktionsplanungen, dass nur selten das Thema Gesamtlärm bzw. Mehrfachbelastungen relevant in den Ausführungen betrachtet wird. Meist finden sich nur kurze Textpassagen, die allgemeine Bereiche möglicher Mehrfachbelastungen benennen. Eine systematische Analyse auf Grundlage der Daten der Lärmkartierung findet auch nicht grundsätzlich statt, zudem ist die Vorgehensweise hier stark unterschiedlich. Ergebnisse aus der Öffentlichkeitsbeteiligung werden selten in den Lärmaktionsplänen detailliert aufgeführt, Hinweise auf Mehrfachbelastungen aus diesen Kommentaren sind somit schwierig zu finden. Bei Onlinebeteiligungen hängt eine mögliche Identifizierung von Mehrfachbelastungen stark von der jeweiligen Umsetzung ab, eine systematische Analyse von reinen Textbeiträgen ist schwierig umzusetzen.

Das Thema Gesamtlärm bzw. Mehrfachbelastung ist damit im Rahmen der Lärmaktionsplanung bisher erkennbar nur schwach berücksichtigt. Hinweise für eine Maßnahmenplanung können somit nicht sicher auf die Lärmaktionsplanung zurückgreifen, da Konfliktlagen mit Mehrfachbelastungen einzig aufgrund der in den Lärmaktionsplänen genannten Konflikte, meist mit dem Schwerpunkt Straßenverkehr, nicht ausgeschlossen werden können.

2.2.2 Exemplarische Detailauswertung zu Lärmkumulationen

Am Beispiel von Lärmberechnungen für die Stadt Köln sollen zwei zuvor betrachtete Aspekte überprüft werden: Zum einen steht die Relevanz der Quellen zur Diskussion, ab der eine Kumulation mehrerer Quellen und keine vorwiegende Dominanz einer Einzelquelle vorliegt, zum anderen soll die (optische) Überlagerung anhand von Schwellenwerten einer rechnerischen Prüfung gegenübergestellt werden.

Zur Analyse wurden die Lärmquellen Straße, Schiene (DB und nicht-DB) sowie Flug herangezogen. Hierfür lagen Berechnungsergebnisse für den Lärmindex L_{DEN} in Rasterform (ab einem L_{DEN} von 50 dB(A), klassifiziert in 5 dB-Schritten) vor. Die Daten wurden aus Datensätzen des Umweltbundesamtes [28] (Straße, DB-Schiene, Flug) zur Lärmkartierung 2017 bzw. der Stadt Köln [29] (nicht-DB-Schiene) entnommen.

In einer ersten Auswertung wurden die jeweiligen Rasterflächen optisch überlagert. Hierzu wurden

die Bereiche über einem L_{DEN} von 60 dB(A) dargestellt. Die Bereiche einer Mehrfachbelastung ergeben sich grafisch anhand der sich überlagernden Farben (siehe Bild 18).

Sie zeigen jedoch im Detail eher einzelne Quellen, die fast ausschließlich zum Gesamtpegel beitragen. In der rein optischen Überlagerung werden die Beiträge einzelner eher leiser Lärmquellen bei sehr hohen Gesamtpegeln, die durch andere Quellen hervorgerufen werden, überschätzt. Für eine erste orientierende Darstellung ist dieses Verfahren jedoch geeignet.

Für die Lärmquellen (Straße, Schiene, Flug) wurden jeweils die Bereiche identifiziert, in denen bei einem (energetisch addierten) Gesamtpegel über einer gewählten Schwelle (z. B. $L_{DEN} \geq 65$ dB(A)) der Teilpegel der jeweiligen Einzelquelle höchstens 10 dB unter dem Gesamtpegel liegt. Eine einzelne Quellenart muss damit mindestens bei 55 dB(A) liegen. In Bereichen einer Pegelsumme von zum Beispiel 75 dB(A) werden somit nur Quellen mit mindestens 65 dB(A) als relevant beitragend identifiziert.

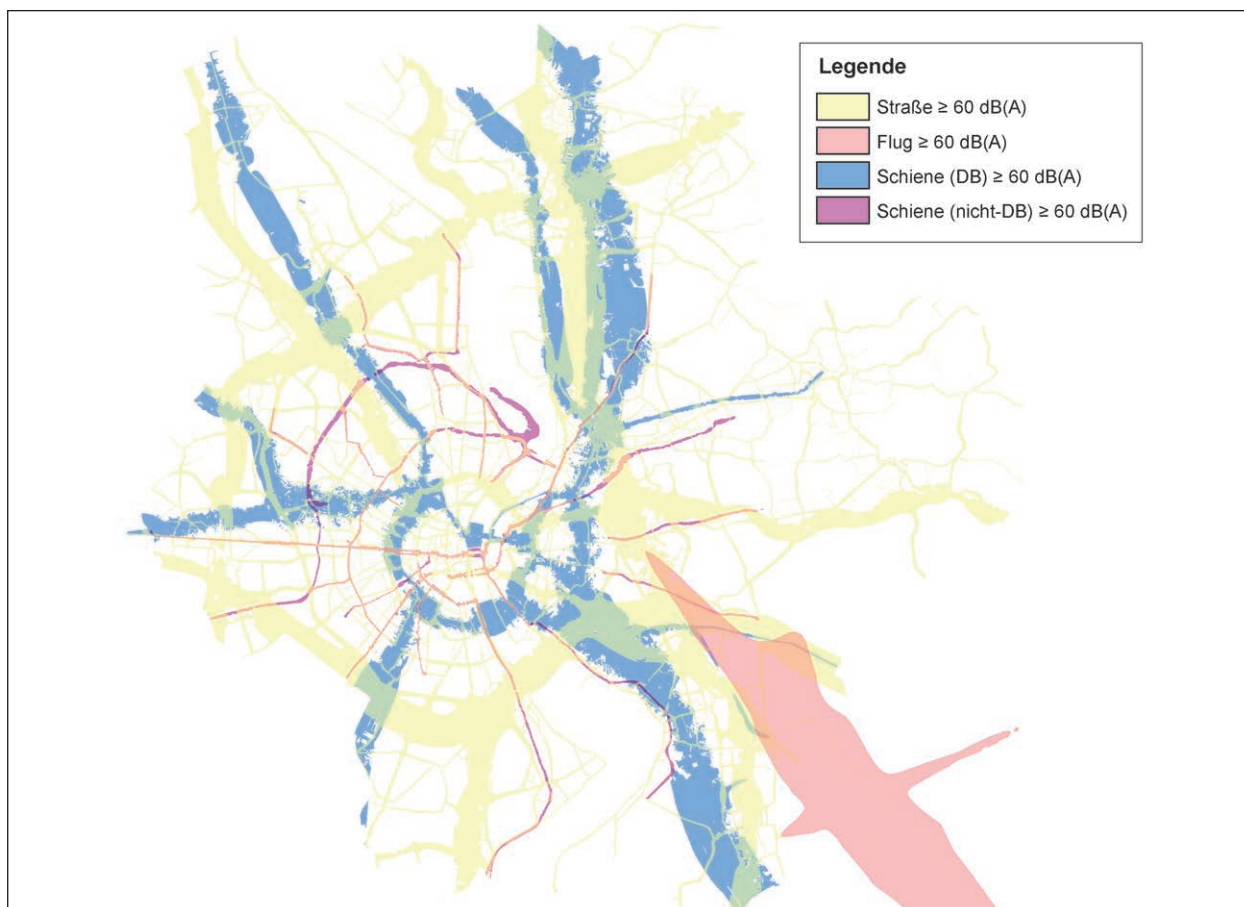


Bild 18: Grafische Überlagerung (je Quelle $L_{DEN} \geq 60$ dB(A)), (Datenquelle Straße, DB-Schiene, Flug: © UBADatenquelle nicht-DB-Schiene: Stadt Köln)

Die Bereiche, die diesen Anforderungen an einer Lärmquelle genügen, werden als „Bereiche der Relevanz“ einer Lärmquelle bezeichnet. Sie sind z. B. in Bild 20 farblich dargestellt. Für die Lärmquellen wurden dabei drei Farben gewählt:

- Straßenverkehr: Hellgelb,
- Schienenverkehr: Hellblau,
- Flugverkehr: Hellrot.

Die Bereiche wurden zudem überlagert, sodass eine Karte zur Identifikation der von den Lärmquellen relevant beeinflussten Bereiche entsteht. Bei der Überlagerung von zwei Lärmquellen ergeben sich dann die Farben entsprechend der Farbmischung der beteiligten Komponenten, eine Überlagerung aller drei Quellen wurde mit Rot gewählt:

- Orange: Straße und Flugverkehr,
- Grün: Straße und Schienenverkehr,

- Violett: Schienen und Flugverkehr,
- Rot: Straße, Schiene und Flugverkehr.

Die Auswertung anhand der zuvor genannten Modelldaten erfolgte einmal für eine Pegelsumme $L_{DEN} \geq 60$ dB(A) (Bild 19) sowie $L_{DEN} \geq 65$ dB(A) (Bild 20 und Bild 21). Für die erste Variante sind somit Flächen gekennzeichnet, in denen die einzelnen Quellen jeweils einen $L_{DEN} \geq 50$ dB(A) aufweisen. Für die zweite Variante ist ein Teilpegel von jeweils $L_{DEN} \geq 55$ dB(A) notwendig.

Bei geringeren Pegeln zeigen sich deutlich größere Flächen, die mit einer Kumulation identifiziert wurden. Der Teilpegel der Quellen liegt hierbei jedoch potenziell sehr niedrig. In den weiteren Betrachtungen wird auf die Variante mit einer Pegelsumme von $L_{DEN} \geq 65$ dB(A) zurückgegriffen.

In den Ergebnissen in Bild 20 zeigt sich die Dominanz des Straßenverkehrs (Hellgelb, ca. 3.600 ha)

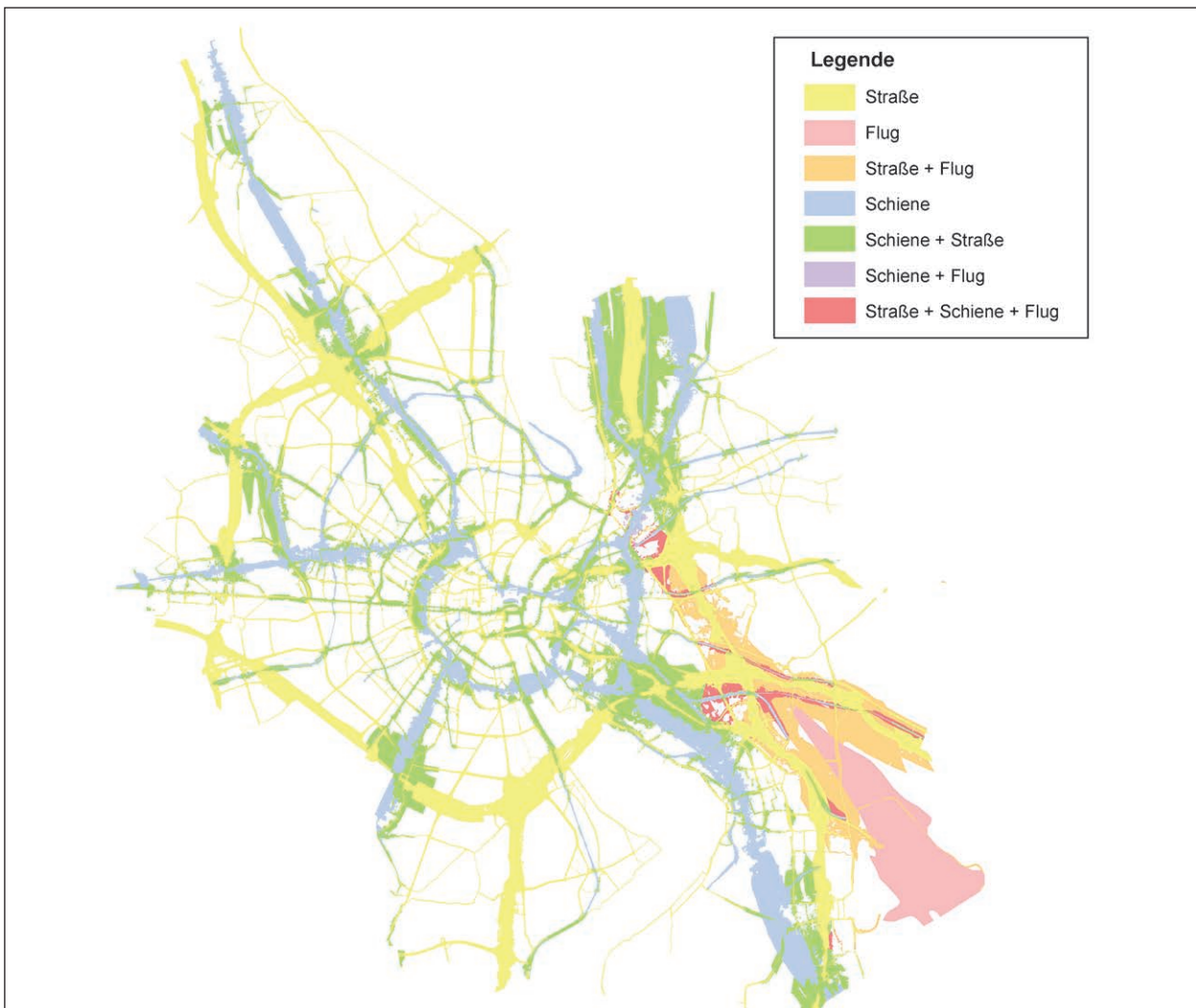


Bild 19: Überlagerung Relevanz, Pegelsumme $L_{DEN} \geq 60$ dB(A), (Datenquelle Straße, DB-Schiene, Flug: © UBADatenquelle nicht-DB-Schiene: Stadt Köln)

sowie des Schienenverkehrs (Hellblau, ca. 2.100 ha), in Teilbereichen des Flugverkehrs (Hellrot, ca. 500 ha).

Größere Bereiche sind auch für den Schienenverkehr in Kombination mit Straßenverkehr relevant (Grün, ca. 1.500 ha). Der Flugverkehrslärm ist in geringem Maße auch zusammen mit dem Straßenverkehrslärm relevant (orange, ca. 160 ha). Schienenverkehr zusammen mit Flugverkehr ist kaum relevant (Violett, ca. 2 ha).

Die Überlagerung aller drei Lärmquellen (Rot) ergibt sich für eine Fläche von ca. 18 ha (siehe auch Bild 21). Die Detailbetrachtungen zeigen, dass dies im Bereich des von Fluglärm belasteten Gebietes in gewissem Abstand von der Schiene der Fall ist. Im Nahbereich zur Schiene dominiert diese Quelle (Blau), in größeren Abständen sind nur noch der Straßen- und Flugverkehr relevant (Hellgelb, Hellrot). Für einen $L_{DEN} \geq 60$ dB(A) ist die Fläche mit

233 ha deutlich ausgeprägter (siehe Bild 19), für einen $L_{DEN} \geq 70$ dB(A) wird keine Überlagerung von drei Lärmquellen ermittelt.

Im Ergebnis lässt sich somit feststellen, dass die Kombination von zwei Lärmquellen, Straße und Flugverkehr sowie Straße und Schienenverkehr, in großen Bereichen von Lärm belasteter Gebiete relevant sein kann. Eine Überlagerung dreier Lärmquellen ist ebenfalls gegeben, jedoch in deutlich geringerem Umfang zu erwarten.

Bei geringeren notwendigen Gesamtpegeln sind die identifizierten Flächen deutlich ausgeprägter. Insbesondere die Flächen, die zusätzlich durch Flugverkehrslärm beaufschlagt werden, treten deutlich hervor. Der Anteil einzelner Quellen ist hierbei mit einem $L_{DEN} \geq 50$ dB(A) z. T. sehr niedrig.

Dennoch zeigt ein Vergleich mit den Ergebnissen der ersten Onlinebeteiligung (vgl. Bild 17 und 20),

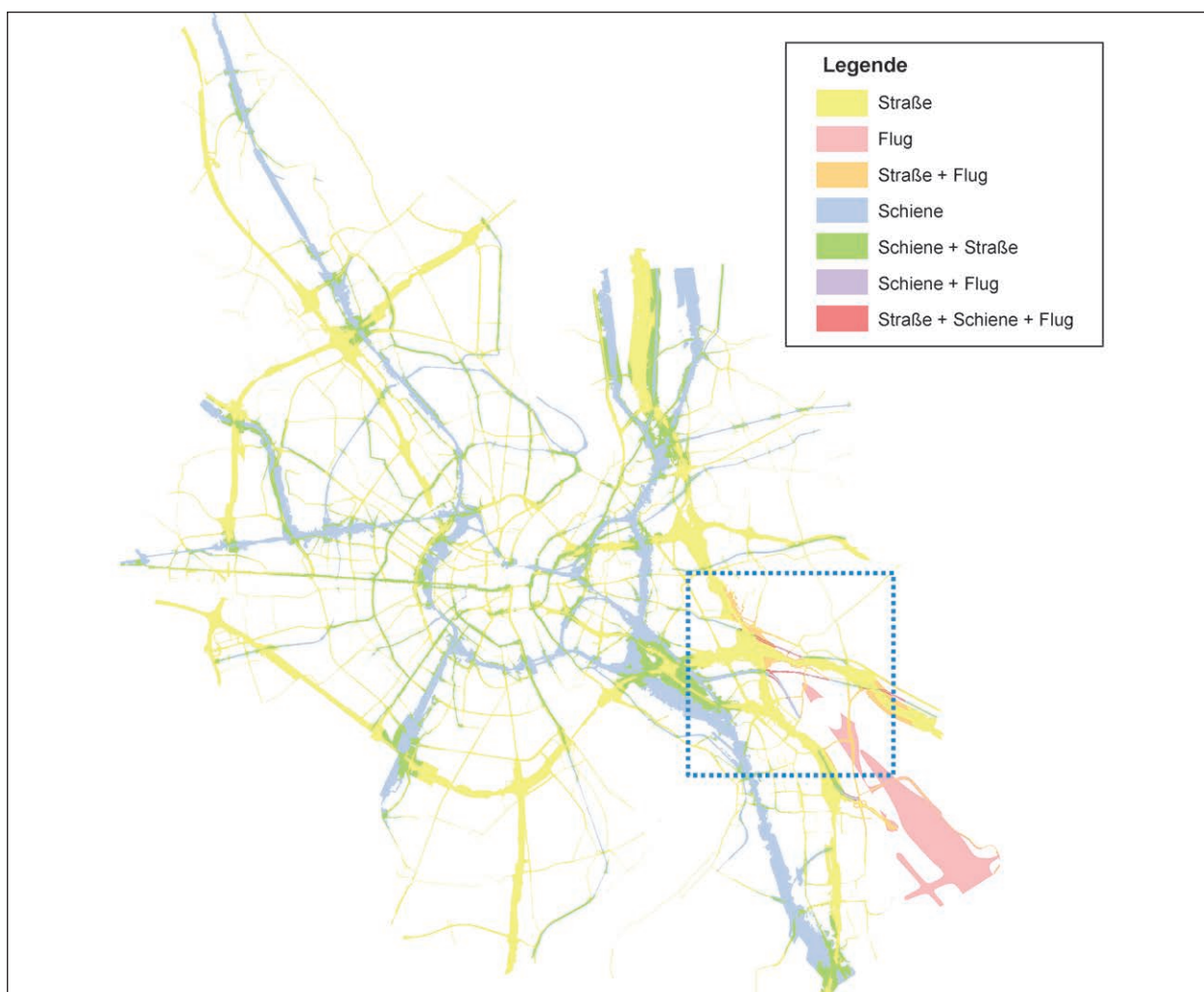


Bild 20: Überlagerung Relevanz, Pegelsumme $L_{DEN} \geq 65$ dB(A), (Datenquelle Straße, DB-Schiene, Flug: © UBA Datenquelle nicht-DB-Schiene: Stadt Köln)

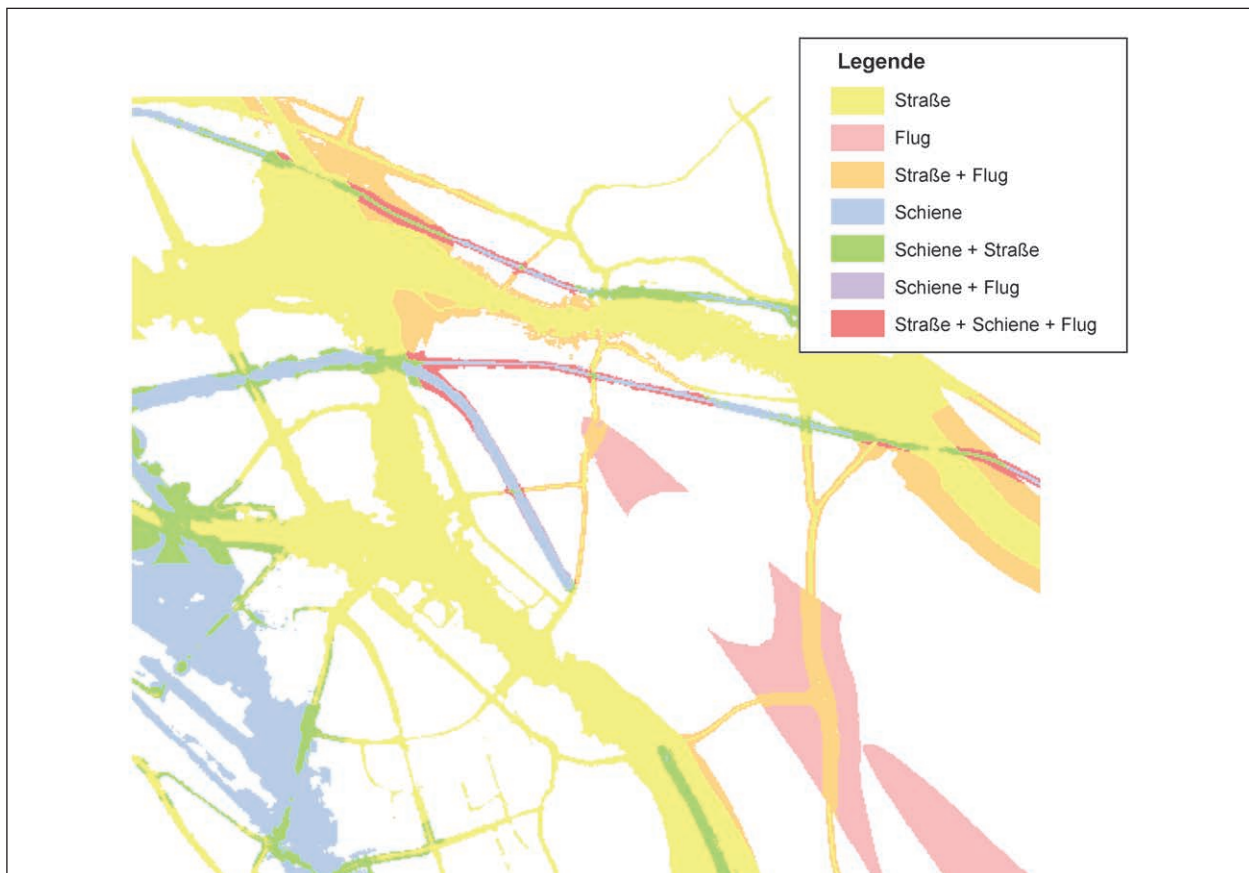


Bild 21: Überlagerung Relevanz – Ausschnitt, Pegelsumme $L_{DEN} \geq 65$ dB(A), (Datenquelle Straße, DB-Schiene, Flug: © UBA
Datenquelle nicht-DB-Schiene: Stadt Köln)

dass die mit dem Verfahren z. B. im Bereich Köln-Mülheim identifizierten Gebiete deutliche Meldungen sowohl für Straßen-, Schienen- und Flugverkehrslärm aufweisen. Eine Ursache hierfür könnte sein, dass die Quellen unterschiedliche Wirkungen auf den Menschen ausüben und daher unterschiedliche Belästigungsreaktionen auftreten können (siehe Kapitel 3.1.1), die z. B. in den unterschiedlichen zeitlichen Dominanzen begründet sein kann (siehe Kapitel 2.1.5).

Die durchgeführten Analysen sind als exemplarisch zu verstehen, im Wesentlichen aber auf vergleichbare Situationen zu übertragen. Es wurde eine Analyse der Raster durchgeführt, da hierdurch die Ergebnisse in der Fläche besser erkennbar sind. Für die tatsächliche Betroffenheitsanalyse und die Maßnahmenplanung wäre auf die berechneten Fassadenpegel an den Gebäuden abzustellen. Grundsätzlich zeigt das Verfahren, dass effektive und effiziente Verfahren existieren, um Lärmkumulationen z. B. im Rahmen der Lärmaktionsplanung zu identifizieren.

2.2.3 Exemplarische Gebiete für Lärmkumulationen

Ausgehend von den in Kapitel 2.2.1 beschriebenen Unterlagen der Lärmkartierung und Lärmaktionsplanung werden jeweils exemplarische Bereiche identifiziert, in denen eine Belastung durch mehrere Lärmquellen vorliegen kann. Ergänzend werden Gebiete in die Betrachtung aufgenommen, die von Personen des projektbegleitenden Ausschusses gemeldet wurden.

Die Gebiete werden in der weiteren Bearbeitung die Grundlage von Modellgebieten für eine detaillierte rechnerische Betrachtung sein.

2.2.3.1 Auswahl aus Lärmkartierungen und Lärmaktionsplanungen

Aus der Lärmaktionsplanung Duisburg wird ein innerstädtischer Bereich identifiziert, für den die Überschreitung bestimmter Schwellenwerte durch mehrere Lärmquellen erwartet wird (siehe Bild 8). Es zeigt sich in der Karte (Bild 22) deutlich, dass sich im in-

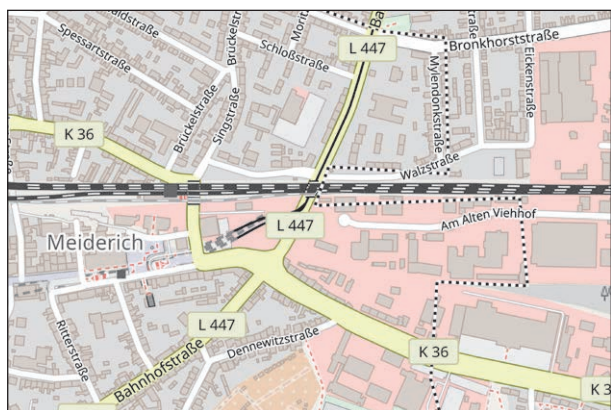


Bild 22: Beispiel Duisburg – Kreuzung Straße-Schiene-Straßenbahn im innerstädtischen Bereich (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

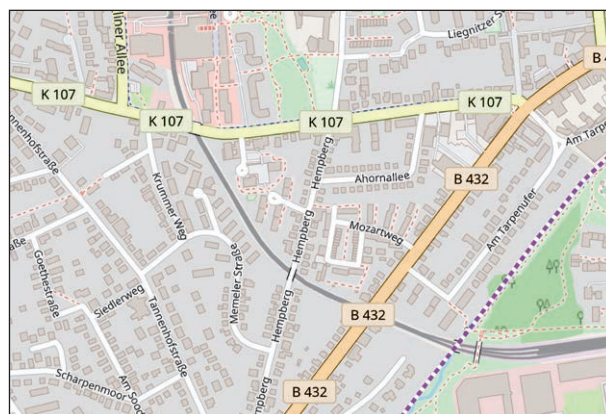


Bild 23: Beispiel Norderstedt – Kreuzung Straße-Schiene-Flug im vorstädtischen Bereich (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

nerstädtischen Bereich mehrere Verkehrslärmquellen kreuzen. Hierzu gehören neben dem städtischen Straßennetz eine Kreis- und eine Landesstraße, eine Eisenbahnstrecke sowie eine Stadtbahnlinie.

Das Gebiet ist daher geprägt durch den Lärm im Zentrum des Knotens, wo die Verkehrswege teilweise parallel laufen (Kreisstraße und Bahn) oder sich kreuzen. In einigen Bereichen des betrachteten Gebietes werden daher ruhige Fassaden existieren, in einigen Bereichen wird der Lärm von mehreren Seiten einwirken.

Aus dem Lärmaktionsplan Norderstedt wird ein Bereich identifiziert, der nur geringfügig unter dem dort gesetzten Schwellenwert für Flugverkehrslärm liegt, aber sowohl von Straßen- als auch Schienenverkehrslärm betroffen ist. Es findet sich hier eine wesentlich lockerere Bebauung, die eher vorstädtischen Charakter hat. Die Bahnstrecke liegt zudem als Nebenstrecke (vergleichbar S-Bahn oder U-Bahn) deutlich dichter an der Bebauung. Es zeigt sich in der Karte (Bild 23) eine dreieckige Fläche, die von einer Kreisstraße (K 107), einer Bundesstraße (B 432) sowie der Bahnstrecke eingeschlossen wird. Das Gebiet ist also von drei Seiten mit Lärm beaufschlagt. Es ist zu vermuten, dass deshalb kaum ausgeprägt ruhige Fassaden an den Gebäuden existieren.

Aus den vorliegenden Plänen der Lärmaktionsplanung Mainz wird ein Bereich in den Blick genommen, der neben Straßen- und Schienenverkehr auch sehr stark durch Flugverkehrslärm betroffen ist. Bild 24 zeigt, dass das Gebiet von einer anbaufreien Bundesstraße (B 9), einer Bundesautobahn (A 60), einer Landes- (L 431) und einer Kreisstraße (K 13) sowie von einer Bahnstrecke durchzogen wird.

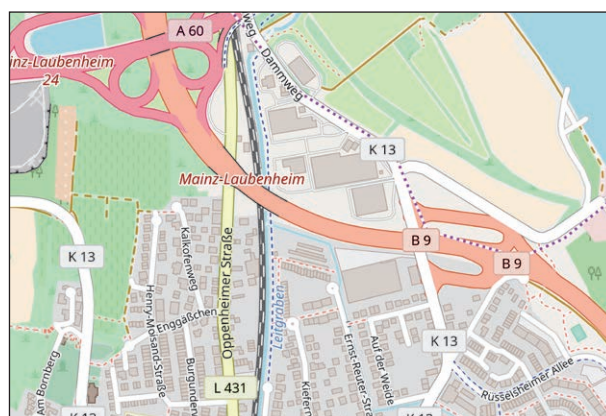


Bild 24: Beispiel Mainz – Kreuzung Straße-Schiene + Flug (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

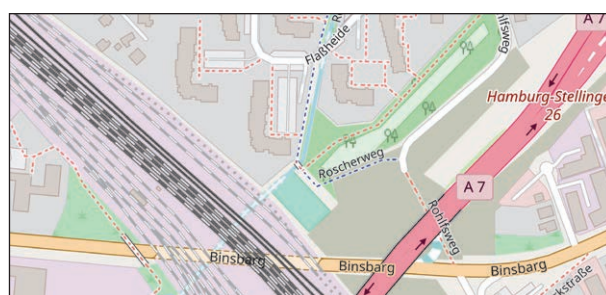


Bild 25: Beispiel Hamburg – Kreuzung Straße-Schiene + Flug (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

Besonders im Gebiet westlich der Landesstraße ist eine Belastung durch Lärm von fast allen Seiten gegeben. In der Summe könnte jedoch der Lärm von der Bundesstraße und der Autobahn dominieren.

Aus dem Hamburger Stadtgebiet wird exemplarisch eine Situation dargestellt, in der sich eine stark befahrene Autobahn und mehrere stark befahrene Eisenbahnstrecken kreuzen (Bild 25).

Die betroffenen Gebäude im Gebiet werden mit Ausnahme von Norden von allen Seiten durch starken Verkehrslärm beschallt.

In der Lärmaktionsplanung der Stadt Köln beziehungsweise der im Rahmen dieses Forschungsvorhabens erstellten ergänzenden Auswertung werden mehrere Bereiche identifiziert, in denen Mehrfachbelastungen zu erwarten sind.

Das erste Gebiet entspricht dem östlichen in Kapitel 2.2.2 identifizierten Gebiet. Hier liegen parallel zu einer Bundesautobahn zwei Schienenstrecken (DB und Stadtbahn) (Bild 26). Die Gebäude in diesem Bereich werden somit jeweils von einer Seite von Straßen- und von der anderen Seite von Schienenverkehrslärm beschallt.

Das zweite Gebiet entspricht ebenfalls einem in Kapitel 2.2.2 identifizierten Gebiet. Hier kreuzt eine Stadtbahnstrecke in spitzem Winkel eine Bundesautobahn (Bild 27).

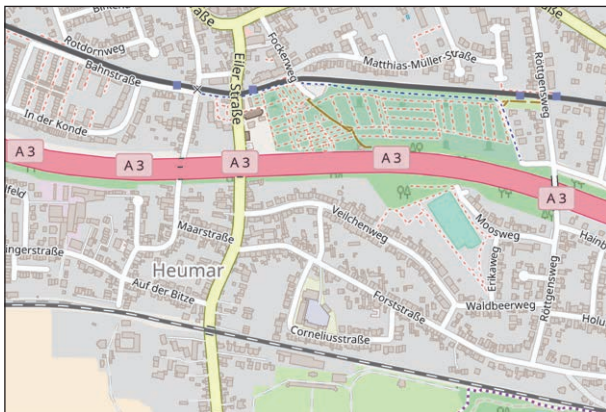


Bild 26: Beispiel Köln – Parallel Straße-Schiene + Flug (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

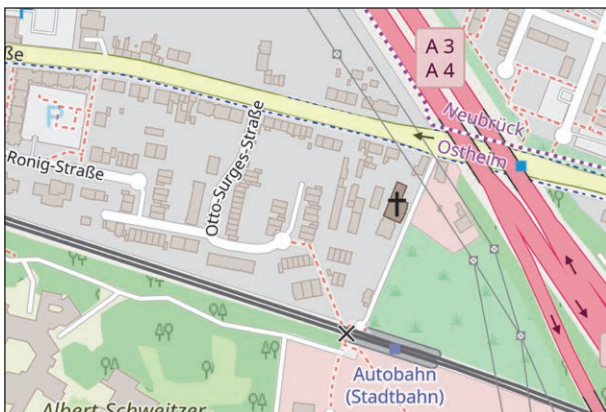


Bild 27: Beispiel Köln – Kreuzung Straße-Schiene + Flug (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

Das dritte Gebiet entstammt ebenfalls der Auswertung in Kapitel 2.2.2, befindet sich in der Nähe eines Autobahnkreuzes und wird zudem von einer Stadtbahnstrecke durchzogen. Die südlichen Gebäude sind von zwei Seiten von Lärm betroffen, die direkt nordwestlich an die Schienenstrecke angrenzenden Gebäude sind von Schienenverkehrslärm und auch vom Lärm der Bundesautobahnen betroffen (Bild 28).

Das vierte Gebiet wurde mithilfe der Lärmkartierungen der Stadt Köln identifiziert (Bild 29). Im Inneren dieses Gebiets erzeugt keine Verkehrslärmquelle Beurteilungspegel von jeweils mehr als 55 dB(A), an den der L188 zugewandten Wohngebäuden sind es jedoch jeweils um die 60 dB(A). Insgesamt wird das Gebiet von Straßen-, von Stadtbahn- und vom DB-Schienenverkehr jeweils mit Pegeln in der genannten Größenordnung belastet. Das Gebiet zeigt eine typische Situation für ein – pro Quelle betrachtet – vergleichsweise ruhiges Gebiet, in der Summe liegt die Belastung jedoch deutlich höher.

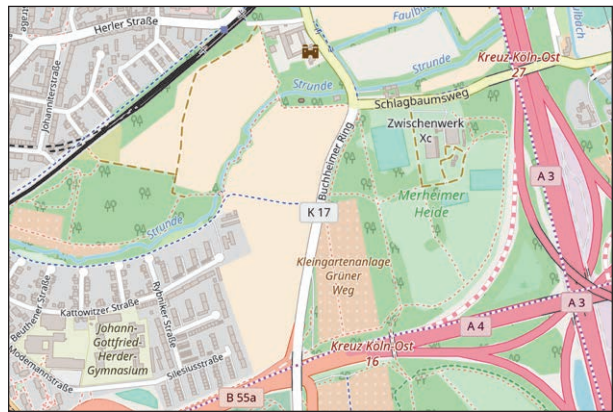


Bild 28: Beispiel Köln – Kreuzung Straße sowie parallele Schiene + Flug (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)



Bild 29: Beispiel Köln – Parallele Straße + Schiene + Straßenbahn (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

2.2.3.2 Auswahl aus bekannten Gebieten durch den projektbegleitenden Ausschuss

Ergänzend wurden aus dem projektbegleitenden Ausschuss mehrere Situationen gemeldet, die Beispiele für eine Lärmkumulation darstellen. Hierbei handelte es sich überwiegend um ländliche Situationen oder eine vorstädtisch geprägte offene Bebauung.

In Bild 30 sind Beispiele sich kreuzender Quellen dargestellt. Es handelt sich hierbei sowohl um Kreuzungen von Straßen und Schienenwegen als auch

um Kreuzungen mehrerer Straßen oder Schienenwege. In allen Fällen sind die belasteten Gebäude von mehreren Seiten von Lärm betroffen.

In Bild 31 sind typische Situationen von parallelen Quellen (Straße und Schiene) bei vorwiegend offener Bebauung dargestellt.

Den Gebieten ist in einigen Fällen auch eine typische Lage von möglichem Schiffsverkehr zu entnehmen. Eine genauere Auswertung zum Flugverkehrslärm in den jeweiligen Gebieten wird nicht dargestellt.



Bild 30: Beispiele für sich kreuzende Verkehrslärmquellen (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)



Bild 31: Beispiele paralleler Verkehrslärmquellen im ländlichen Bereich (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

2.3 Auswertung von Lärmkumulatio- nen in Modellgebieten

Ausgehend von den bisherigen Ergebnissen soll die Theorie (Kapitel 2.1) in realitätsnäheren Modellgebieten überprüft werden. Es ist zu erwarten, dass durch die Bebauung sowie das Gelände nicht unwesentliche Effekte eintreten, die die Immissions-situation in den Gebieten verändern.

Ziel des Projektes ist eine Hilfestellung zur Lärm-minderung bei Lärmkumulativen. Sofern aus den Modellberechnungen allgemeingültige Ergebnisse zu möglichen Lärmschutzmaßnahmen abzuleiten sind, werden diese dargestellt.

2.3.1 Überführung der exemplarischen Gebiete in Modellgebiete

In den vorhergehenden Betrachtungen wurden jeweils exemplarische Bereiche identifiziert, in denen eine relevante Belastung durch mehrere Lärmquellen vorliegen kann. Für die im Projekt durchgeführten Modellberechnungen wurden daraus die folgen-de Gebietstypen abgeleitet:

- innerstädtisches Gebiet mit dichter, geschlossener Wohnbebauung,
- vorstädtisches Gebiet mit dichter, offener Wohnbebauung,
- ländliches Gebiet mit lockerer Wohnbebauung.

Für die Anordnung der Lärmquellen werden folgen-de Situationen unterschieden:

- Kreuzung dominanter Lärmquellen (in unterschiedlichen Winkeln),
- parallele Führung dominanter Lärmquellen
 - kombinierte Lage, angrenzend an betroffene Bebauung,
 - betroffene Bebauung zwischen den Lärmquellen.
- Von Lärmquellen umschlossene Fläche, somit mit Einwirken aus mehreren Richtungen (flächige Lage),

Innerhalb einer bestehenden Modellstadt der LÄRMKONTOR GmbH wurden verschiedene Bereiche identifiziert, die für die Erstellung kleinräumiger Modellgebiete in Frage kommen. Insgesamt wurden für die Prüfung von Lärmkumulativen zwölf Modellgebiete entworfen, die verschiedene Ein-

fluss-Szenarien unterschiedlicher Quellen wiedergeben. Die Lage der Modellgebiete innerhalb der Modellstadt ist im Anhang A dargestellt.

Bei der Modellierung wurden gezielt kleine Gebiete mit einer Kantenlänge von etwa 500 bis 750 m gewählt, um den Fokus auf eine räumlich begrenzbare Lärmkumulation zu legen. Dabei wurden in den Gebieten teilweise mehrere, voneinander unabhängige Belastungsschwerpunkte ermittelt. Größere Gebiete erwiesen sich (mit Ausnahme von parallelen Lagen) daher nicht als praktikabel, es empfiehlt sich eine jeweils separate Auswertung.

2.3.2 Modellbildung und Berechnungen

Die Ausschnitte aus der Modellstadt wurden modifiziert, um bestimmte Eigenschaften detaillierter abbilden zu können. So kam eine Modellierung des Geländes insbesondere in den Uferbereichen hinzu, um die unterschiedlichen Höhenlagen der Quellen Straße, Schienenweg und Wasserstraße berücksichtigen zu können. In einigen Fällen wurden auch ergänzende Quellen in das Modell aufgenommen, um bisher nicht berücksichtigte Kombinationen beziehungsweise räumliche Anordnungen zu untersuchen. Die Lagepläne der für die Untersuchungen verwendeten Modellgebiete sind in Anhang A dargestellt.

Für den Flugverkehr ist aufgrund der kleinräumigen Berechnungsgebiete im Modell keine umfangreiche Modellierung notwendig. Der Schiffsverkehr wurde für geeignete Modellgebiete ergänzt. Je nach Lage der Gebiete ist sowohl eine Modellierung als Seeschiffsverkehr als auch als Binnenschiffsverkehr möglich. Aufgrund der in der Regel größeren Nähe zu den Immissionsorten (und da mit der ABSAW [30] eine entsprechende Berechnungsvorschrift vorliegt), wurde der Schiffsverkehr als Binnenschiff-fahrt modelliert. Es wurden in geeigneten Modellgebieten eine Bundeswasserstraße sowie Liegeplätze in direkter Ufernähe eingefügt. Vor der Berechnung wurden die Quellen Straßen- und Schienenverkehr in ihren Emissionen so angepasst, dass keine dieser Quellen eine zu deutliche Dominanz aufweist.

Für die Auswertungen wurden Fassadenpegelbe-rechnungen für die Wohngebäude durchgeführt, wobei die Verteilung der Immissionsorte jeweils nach der BEB [31], erfolgte. Abweichend von der BEB wurden abhängig von der jeweiligen Gebäude-höhe Berechnungen in mehreren Geschossen durchgeführt.

2.3.3 Schlussfolgerungen aus den Modellrechnungen

Schon die theoretischen Voruntersuchungen (Kapitel 2.1) sowie die Analysen der Lärmaktionspläne und Lärmkartierungen (Kapitel 2.2) haben gezeigt, dass in der Regel der Einfluss von höchstens zwei Quellen auf einen Immissionsort maßgeblich ist. Das gleichzeitige Einwirken von drei Quellen in gleicher relevanter Höhe an einem Immissionsort ist eher selten anzutreffen.

Die Modellgebiete wurden hinsichtlich Lage und Emissionsstärke der Quellen gezielt dahingehend entwickelt, dass eine Lärmkumulation, d. h. ein relevantes Einwirken mehrerer Lärmquellen auftritt. Bereits geringe Änderungen in den Emissionen (relativ zueinander) bewirken jedoch, dass eine Situation von einer Lärmquelle dominiert wird (siehe auch Kapitel 2.1.3). Diese Änderungen bewegen sich in einer Größenordnung (im Beispiel 5 dB(A)), die bei Umsetzung verschiedener Maßnahmen an einer Quelle bereits erreicht werden kann.

Aus den Modellrechnungen hat sich ergeben, dass im Wesentlichen der Schienen- und Straßenverkehr zu einer gemeinsamen Lärmbelastung führen werden. Der Flugverkehr kann, insbesondere aufgrund der hohen Lage der Quellen und einer Berechnung ohne Abschirmung, bei entsprechenden Geräuschemissionen vor allem in räumlicher Nähe zu An- und Abflugrouten an den Flughäfen, ebenfalls relevant beitragen.

Für den Schiffsverkehr haben die Modellansätze ergeben, dass im Vergleich zu den übrigen Verkehrsträgern eher geringe Lärmpegel zu erwarten sind. Sowohl der Straßen- als auch Schienen- und Flugverkehr können Beurteilungspegel von über 70 dB(A) hervorrufen. Sofern der Schiffsverkehr an den betrachteten Immissionsorten mehr als 10 dB unter der lautesten Quelle liegt (siehe Kapitel 2.1.2), kann dieser in der Regel vernachlässigt werden. Eine relevante Rolle kann der Schiffsverkehr damit vor allem spielen, wenn die Fahrwege dicht an schutzbedürftigen Nutzungen verlaufen (etwa bei Kanälen) oder wenn umfangreiche Liegestellen unmittelbar an schutzbedürftige Nutzungen angrenzen.

2.3.3.1 Parallele Quellen

Für parallele Lagen decken sich die Ergebnisse der Modellgebiete in wesentlichen Punkten mit den theoretischen Betrachtungen in Kapitel 2.1.1. Der

Bereich der tatsächlichen Lärmkumulation ist vergleichsweise gering, d. h. es sind nur wenige Gebäude von zwei Lärmquellen (z. B. Straße/Schiene) in gleichem Umfang belastet. Auf jeder Seite der Trasse dominiert meist eine der Quellen. Auch wenn hier teilweise keine Kumulation vorliegt, können abschirmende Maßnahmen in Hinblick auf beide Quellen optimiert werden. Eine Abschirmung kann so nicht nur die Immissionen der dominierenden Quelle, sondern auch die Immissionen weiterer Quellen effektiv mindern. Ein Modell paralleler Quellen wird in der exemplarischen Anwendung des zu entwickelnden Leitfadens in Kapitel 6.1 genauer betrachtet.

2.3.3.2 Kreuzende Quellen

Bei kreuzenden Quellen ergeben sich durch die Bebauung leicht unterschiedliche Ergebnisse zur theoretischen Betrachtung in Kapitel 2.1.1. Durch die Abschirmungen und Reflexionen lassen sich die Gebäude nicht allein anhand ihrer Lage im Kreuzungsbereich einer Kumulation zuordnen.

Es gibt Gebäude in den theoretisch betroffenen Bereichen, für die eine Quelle abgeschirmt wird, und die somit keiner Mehrfachbelastung unterliegen. Andere Gebäude liegen außerhalb des theoretisch identifizierten Bereichs. Durch Abschirmungen bzw. Reflexionen weichen die Pegel der beiden Quellen jedoch soweit von der Theorie (freie Ausbreitung) ab, dass sich annähernd gleiche Pegel und somit eine Lärmkumulation einstellt.

Abschirmende Maßnahmen, die auf beide Lärmquellen wirken, bieten sich bei kreuzenden Quellen vorwiegend in Nähe zum tatsächlichen Kreuzungspunkt an. Bei niveaufreien Kreuzungen, d. h. im Falle von Über-/Unterführungen bzw. Brücken, ist eine gemeinsame Abschirmung jedoch nur schwer umzusetzen. Für die auftretenden Lärmkumulationen außerhalb des Kreuzungsbereichs sind abschirmende Maßnahmen im Einzelfall zu prüfen. Ein Modell kreuzender Quellen wird in der exemplarischen Anwendung des zu entwickelnden Leitfadens in Kapitel 6.3 genauer betrachtet.

2.3.4 Zwischenfazit

Die Modellberechnungen haben wie erwartet ergeben, dass die theoretischen Ergebnisse (Kapitel 2.1) in der Realität nicht ohne weiteres anwendbar sein werden. Durch Abschirmung und Reflexion

ändern sich die Lärmpegel, sodass auch außerhalb der theoretisch identifizierten Bereiche eine Lärmkumulation auftreten kann. Mit zunehmendem Einfluss einer einzelnen Quelle wird dies jedoch zunehmend unwahrscheinlicher.

Da das Auftreten von Lärmkumulation insbesondere bei kreuzenden Quellen sehr stark von der von Abschirmung und Reflexion beeinflussten Ausbreitung abhängt, lassen sich aus den Modellberechnungen keine allgemeingültigen Aussagen zu effektiven Lärmschutzmaßnahmen ableiten. Zudem wird sich in der Praxis der Unterschied der beiden Quellen in den Emissionen auf die Pegelverteilung auswirken.

Insgesamt ist zu erwarten, dass eine Konfliktlösung durch Abschirmung zweier Lärmquellen insbesondere in Kreuzungsbereichen, allgemein aber beim Einwirken von Lärm aus verschiedenen Richtungen, nur schwierig zu erreichen ist. Es sind viel eher gemeinsam abgestimmte Maßnahmenpakete vorzusehen. Wichtig beim Umgang mit einer Lärmkumulation ist daher auch, für einzelne Bereiche bzw. Immissionsorte zu identifizieren, welche Maßnahmenwirkung an welcher Lärmquelle für eine Einhaltung definierter Schutzziele nötig ist.

2.4 In-Situ-Messung im Bereich einer Lärmkumulation

Die erhobenen Erkenntnisse zu Lärmkumulationen wurden entweder rein theoretisch (Kapitel 2.1) bzw. rechnerisch über den Mittelungspegel (Kapitel 2.3) erlangt. Ergänzend zu den theoretischen Betrachtungen

waren im Rahmen des Projektes Messungen vorgesehen, um diese den Berechnungen vergleichend gegenüberzustellen.

Mit den Messungen sollten auch Hinweise auf Besonderheiten bei einer Lärmkumulation gefunden werden, die in der Bewertung über einen Mittelungspegel bislang nicht berücksichtigt werden. Hierzu gehört insbesondere die Zeitstruktur, anhand derer die zeitliche Dominanz einer Quelle ermittelt werden kann (siehe auch Kapitel 2.1.5).

Aus verschiedenen Gründen (schwierige Rahmenbedingungen bei langfristigen Messungen in Ballungsgebieten wie Vandalismus, Stromversorgung, notwendige Genehmigung durch die Kommune/Stadt, Fremdgeräusche oder geringe räumliche Repräsentativität) wurde auf Messkampagnen in realen Untersuchungsgebieten zugunsten von umfangreicheren Berechnungen in fiktiven Modellgebieten verzichtet (siehe auch Kapitel 2.3.1).

Um die Berechnungen in den Modellgebieten dennoch mit realen Lärmsituationen abgleichen zu können, wurde eine Ersatzmessung durchgeführt. Diese Messung wurde auf freiem Feld an einem Kreuzungspunkt von Straße und Schiene durchgeführt. Das Gebiet wurde später zur Berechnung um eine fiktive Bebauung ergänzt (siehe Kapitel 6.3).

2.4.1 Messort und Eingangsdaten

Ein geeigneter Standort zur Durchführung der „Ersatzmessung“ wurde nahe der BAB 39 und des Schienenweges Hamburg-Lüneburg gefunden (Bild 32).

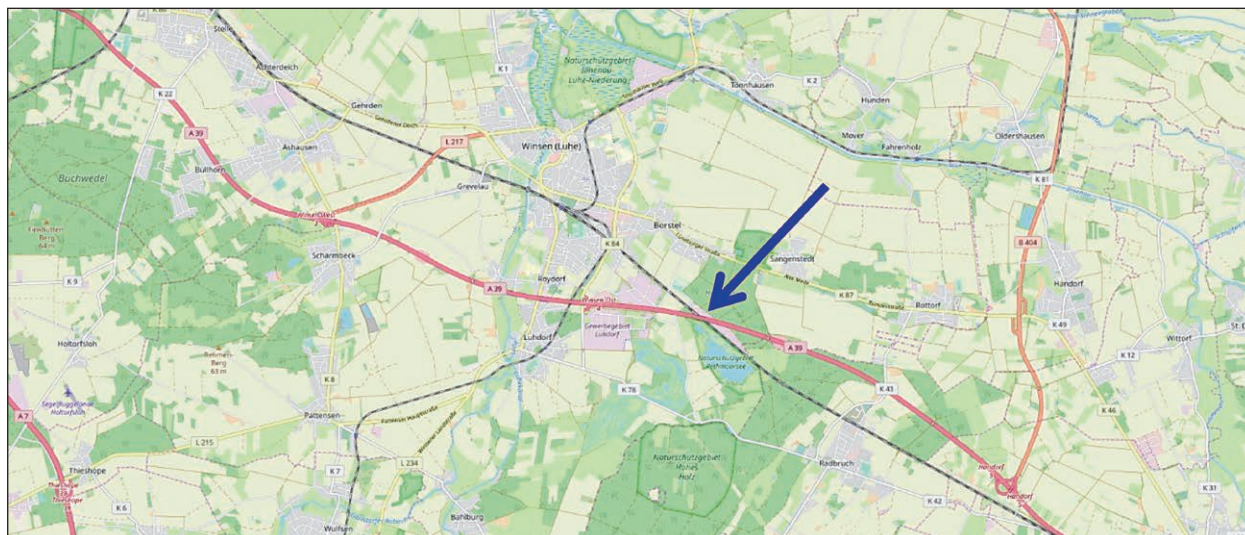


Bild 32: Lageplan Umgebung Messstandort (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

Auf der Fläche, auf der die Messtechnik installiert wurde, stehen ausschließlich Solarpanel (siehe Bild 33, violette Flächen). Der Schienenweg liegt auf Höhe des Messgeländes, das in dieser Gegend sehr eben ist. Die Autobahn ist in Hochlage etwa 9 m über dem Gelände geführt (siehe Bild 34).

Aufgrund der Höhe der Autobahn A 39 von 9 m über dem Gelände wurde die Messung in einer Höhe von 10 m über Grund durchgeführt, um eine direkte Sichtverbindung zur Autobahn zu erreichen.

Vom Messpunkt aus sind die Straße und die Schiene nahezu vollständig einsehbar. Lediglich in Richtung Osten ist die Schiene nur ca. 350 m einsehbar, da danach eine Abschirmung durch den Damm der Autobahn A 39 erfolgt. Bei einem Abstand von etwa 30 m zum nahegelegenen und etwa 40 m zum fernen Gleis ist dies für den Gesamtschallpegel nach rechnerischer Prüfung jedoch nicht rele-

vant. Die Entfernung zur Autobahn beträgt etwa 60 m zum nahen und etwa 80 m zum fernen Fahrstreifen.

Parallel zur Messung erfolgte eine Erfassung der Verkehrsmengen auf der A 39 an der Verkehrszählstelle Winsen (3442, rund 2,5 km östlich des Messortes). Von der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr wurden für den Messzeitraum die stündlichen Verkehrsmengen, getrennt pro Fahrtrichtung und unterschieden nach Pkw- und Schwerverkehr, zur Verfügung gestellt.

Zur Ermittlung der Schienenverkehrsmengen wurden mehrere Datenquellen der DB Netz AG ausgewertet. Es handelt sich um den detaillierten Netzfahrplan mit geplanten Zugfahrten, die prognostizierten Verkehrsmengen mit akustisch relevanten Angaben nach Schall03 sowie erfasste Ist-Informationen über die tatsächlichen Zugbewegungen.

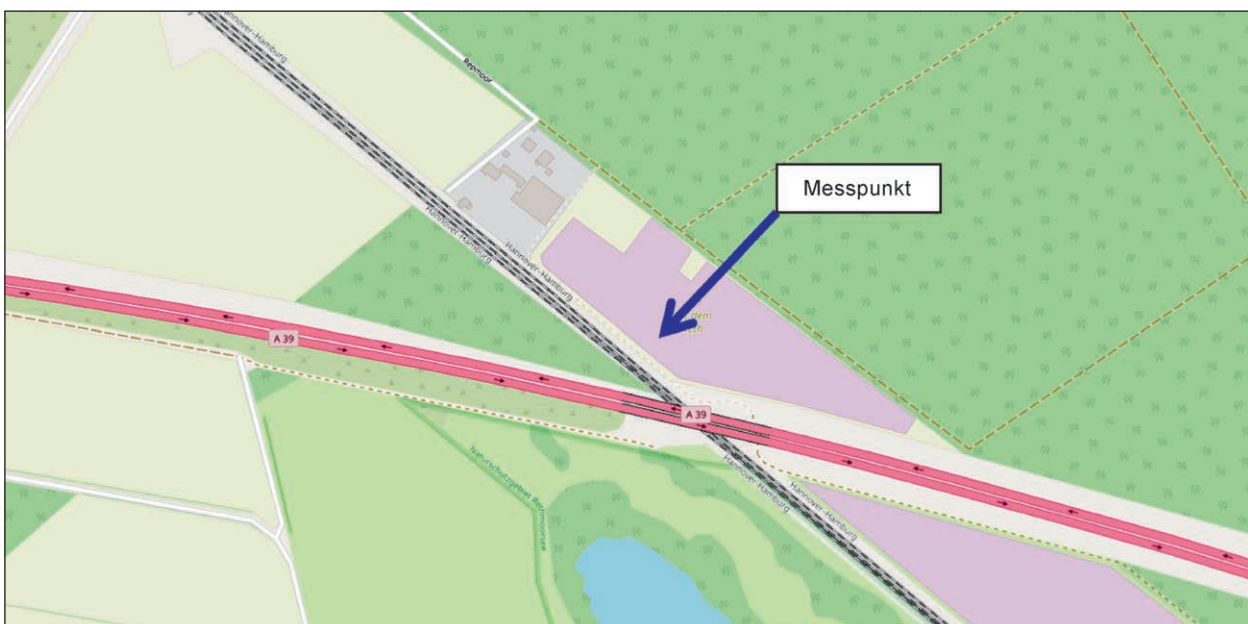


Bild 33: Lageplan Detailansicht (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

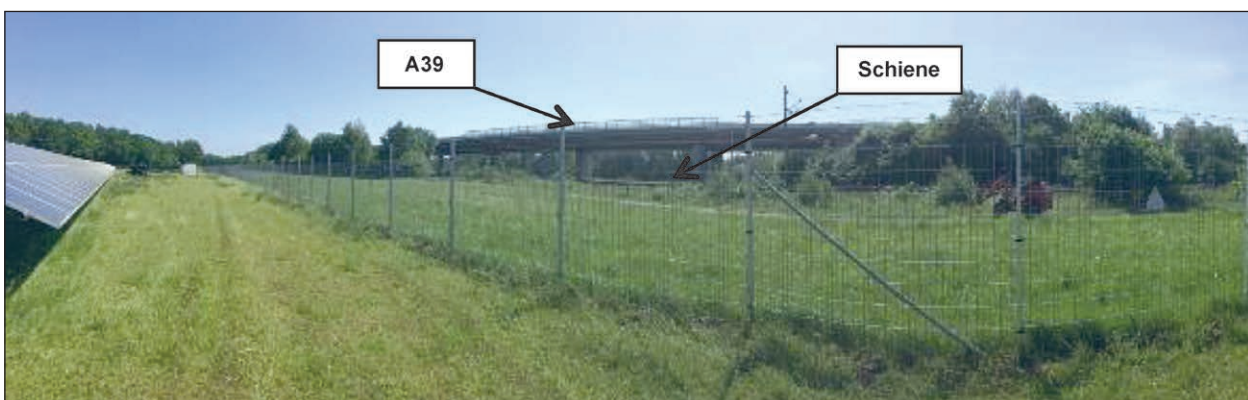


Bild 34: Panoramabild Messpunkt Richtung Süden (LÄRMKONTOR GmbH)

2.4.2 Auswertung

Für die Auswertung der Messungen ist es erforderlich, die Schallquellen Straßen- und Schienenverkehr so gut wie möglich automatisch zu erkennen. Hierzu erfolgte stichprobenartig eine Ermittlung der typischen Pegel während einer Zugvorbeifahrt sowie des Straßenverkehrs. Es zeigt sich eine deutliche Trennung zwischen beiden, sodass eine Schwelle zur Identifikation des Zugverkehrs gewählt wurde. Im Nachtzeitraum traten vereinzelt

Zeiten ohne relevanten Straßenverkehr auf. Diese werden keiner der beiden Quellen zugeordnet.

Ein Beispiel ist in Bild 35 dargestellt. Die Hintergrundgeräusche sind in Grau dargestellt, die identifizierte Zugfahrt mit den jeweils fünf Sekunden Vor- und Nachlauf in Blau, die der Straße zugeordneten Schallpegel Grün.

In den Bildern 36 und 37 sind zwei Beispiele dargestellt, die jeweils den Verlauf einer Stunde darstel-

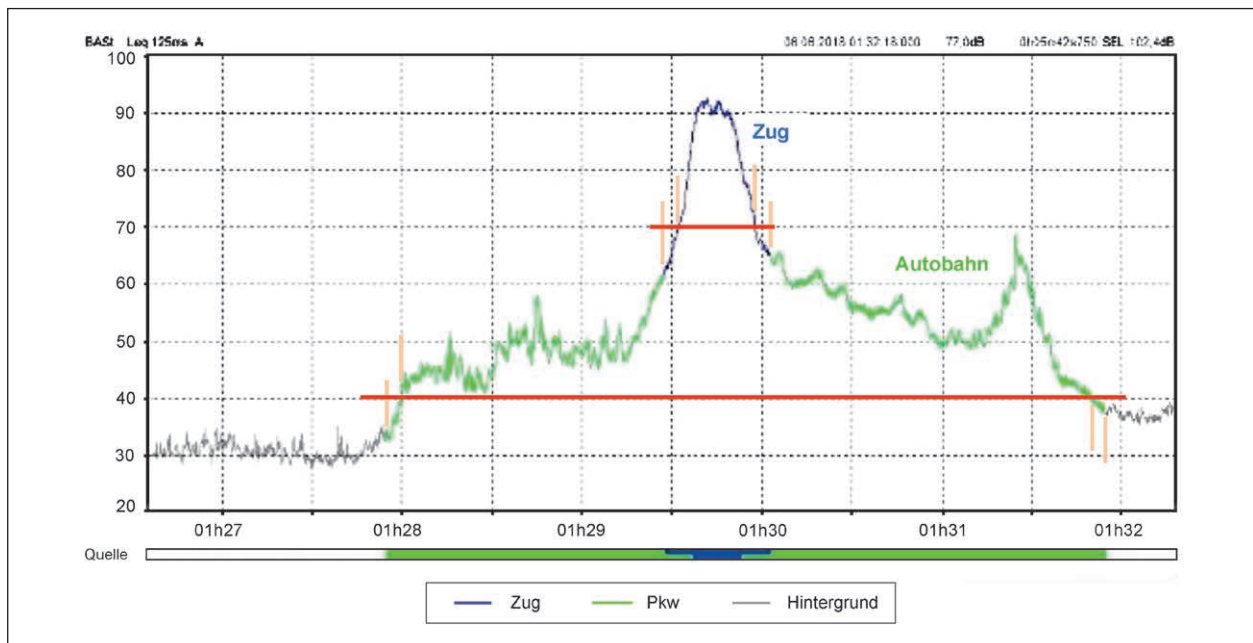


Bild 35: Beispiel zur automatischen Identifizierung von Straßen- und Schienenverkehrslärm

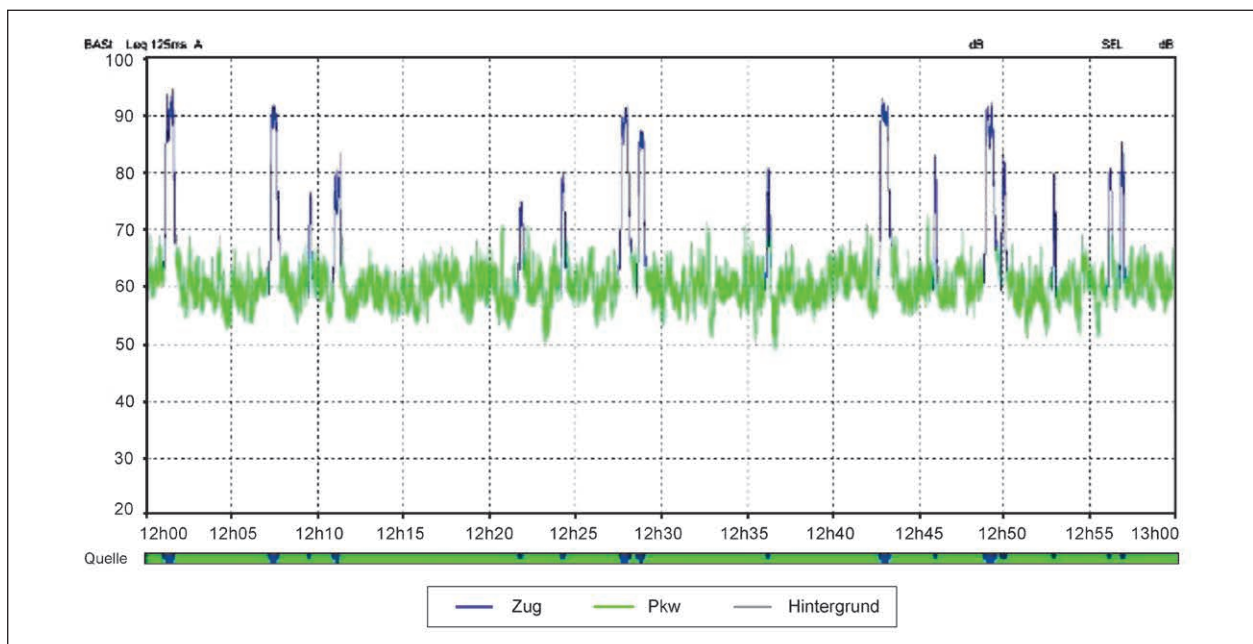


Bild 36: Beispiel Zeitverlauf 06.07.2018 – 12:00 bis 13:00 Uhr

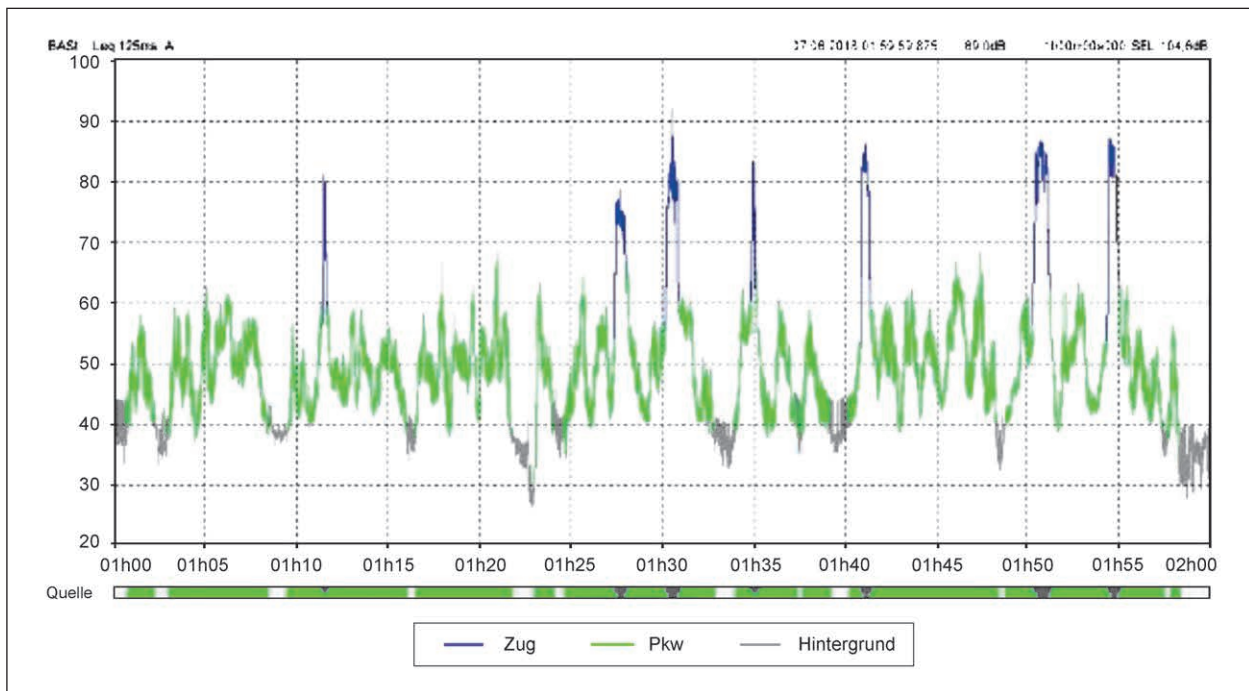


Bild 37: Beispiel Zeitverlauf 06.07.2018 – 1:00 bis 2:00 Uhr

len. Das erste Beispiel (Bild 36) ist ein typischer Schallpegelverlauf am Tag. Erkennbar ist, dass sich die Züge (blaue Pegelverläufe) deutlich aus dem Grundgeräusch der Autobahn (grüne Pegelbereiche) hervorheben. Anhand einer Audioaufzeichnung wurde stichprobenartig verifiziert, dass es sich nicht um andere Schallereignisse handelt.

Der zweite Pegelverlauf stellt eine nächtliche Stunde dar (Bild 37). Ersichtlich ist, dass in der Nacht – anders als am Tag – Zeiträume vorkommen, in denen keine Fahrzeuge auf der Autobahn (graue Bereiche) festzustellen sind.

Zur Validierung der messtechnisch ermittelten Zuordnung von Zügen anhand der gemessenen Schallpegel werden diese Werte tageweise mit den von der DB gemeldeten tatsächlich gefahrenen Zügen verglichen. Für die bereitgestellten Daten erfolgte zudem eine Aufteilung der Züge in Güterzüge, Personenzüge (Nah- und Fernverkehr) sowie sonstige Züge (z. B. Fahrten von Triebfahrzeugen, Bau- und Hilfszügen).

Es zeigt sich in der Zusammenfassung in Tabelle 1 eine gute Übereinstimmung der Messerhebung mit den tatsächlich gefahrenen Zügen. Die messtechnisch erfasste Anzahl an Zügen liegt an den meisten Tagen unter der tatsächlichen Anzahl. Die Abweichungen sind im Tagzeitraum (6 %) höher als im Nachtzeitraum (3 %), zudem sind bei höheren Zugfrequenzen nochmals weniger Züge erfasst wor-

		Anzahl Züge	
		Tag	Nacht
Aus Daten der DB	Güterzüge	4.776	3.420
	Personenzüge	10.865	1.687
	sonst. Züge ¹	270	86
	Summe	15.911	5.193
Aus Messung		15.022	5.057
		94 %	97 %

¹ z. B. Bauzüge, Leerfahrten etc.

Tab. 1: Vergleich der ermittelten Züge

den. Dies deckt sich mit einer Schwäche der messtechnischen Ermittlung: bei Zugbegegnungen wird jeweils nur ein Ereignis erfasst.

2.4.3 Berechnete Schallpegel

Ergänzend zu den Messungen wird auch eine schalltechnische Simulation vorgenommen. Die Berechnungen werden u. a. dazu genutzt, die in kurzen Zeitintervallen erhobenen gemessenen Schallpegel den in Berechnungen ermittelten Mittelungspegeln gegenüberzustellen. Bei der Berechnung von Lärmpegeln wird in der Regel auf ein mittleres Jahr mit mittleren Ausbreitungsbedingungen zurückgegriffen. Schwankungen der Pegel innerhalb des Jahres, z. B. anhand von Baustellen, saisonbe-

dingten Verkehren, meteorologischer Effekte etc. treten nicht auf.

Zur Berechnung der Mittelungspegel durch Straßenverkehrslärm wurde ein Berechnungsmodell erstellt, in dem die geometrischen Ausbreitungsbedingungen erfasst wurden. Es wurden jeweils die Immissionen am Standort des Messmikrofons in entsprechender Höhe ermittelt.

Die Berechnung erfolgte zum einen anhand der Zählraten für Straßen- und Schienenverkehr, jeweils für einen einzelnen Tag- und Nachtzeitraum. Zum anderen wurden die Ergebnisse vergangener Erhebungen bzw. Prognose als Eingangsdaten für eine Berechnung für ein mittleres Jahr genutzt. Für den Straßenverkehr ist dies die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) des Vorjahres, für den Schienenverkehr die Belastung nach Schall03 im Analysefall.

2.4.4 Übersicht über die Messwerte und berechnete Beurteilungspegel

Der zeitliche Verlauf der täglichen und nächtlichen Beurteilungspegel am Messpunkt ist in Bild 38 und Bild 39 dargestellt. Hierbei sind die sich aus der Zuordnung zur Schallquelle ergebenden Teilbeurtei-

lungspegel für den Schienen- und Straßenverkehr getrennt für Tag und Nacht dargestellt.

Der auswertbare Messzeitraum erstreckte sich vom 05.06.2018 bis 03.09.2018 (die Verkehrsdaten lagen nur bis 30.08.2018 vor). Innerhalb des Messzeitraums kam es für wenige Tage zu einem Ausfall der Stromversorgung, zudem führte ein Sturmereignis zu einer vorübergehenden Einstellung des Schienenverkehrs (09.08.2018 bis 10.08.2018).

Der Straßenverkehr ist jeweils in Grün und der Schienenverkehr ist in Blau dargestellt. Die aus den Messungen ermittelten Beurteilungspegel sind durchgehend gekennzeichnet. Die Ergebnisse aus Berechnungen auf Basis der gezählten, stündlichen Verkehrsmengen (Straße) bzw. der tatsächlichen Verkehrsmengen aus der Auswertung (Schiene) sind gestrichelt und die Berechnung mit einem Jahresmittel des Verkehrs (DTV 2017 bzw. Schall03-Analyse) gepunktet dargestellt. Die Summe der gemessenen und berechneten Tagespegel ist in Rot dargestellt.

Für den Straßenverkehr zeigt sich deutlich, dass kaum Variationen über den Messzeitraum bestehen. An den Wochenenden ist, wie zu erwarten, der Verkehr und damit die Immission geringer. Das Jahresmittel deckt sich sehr deutlich mit den detaillier-

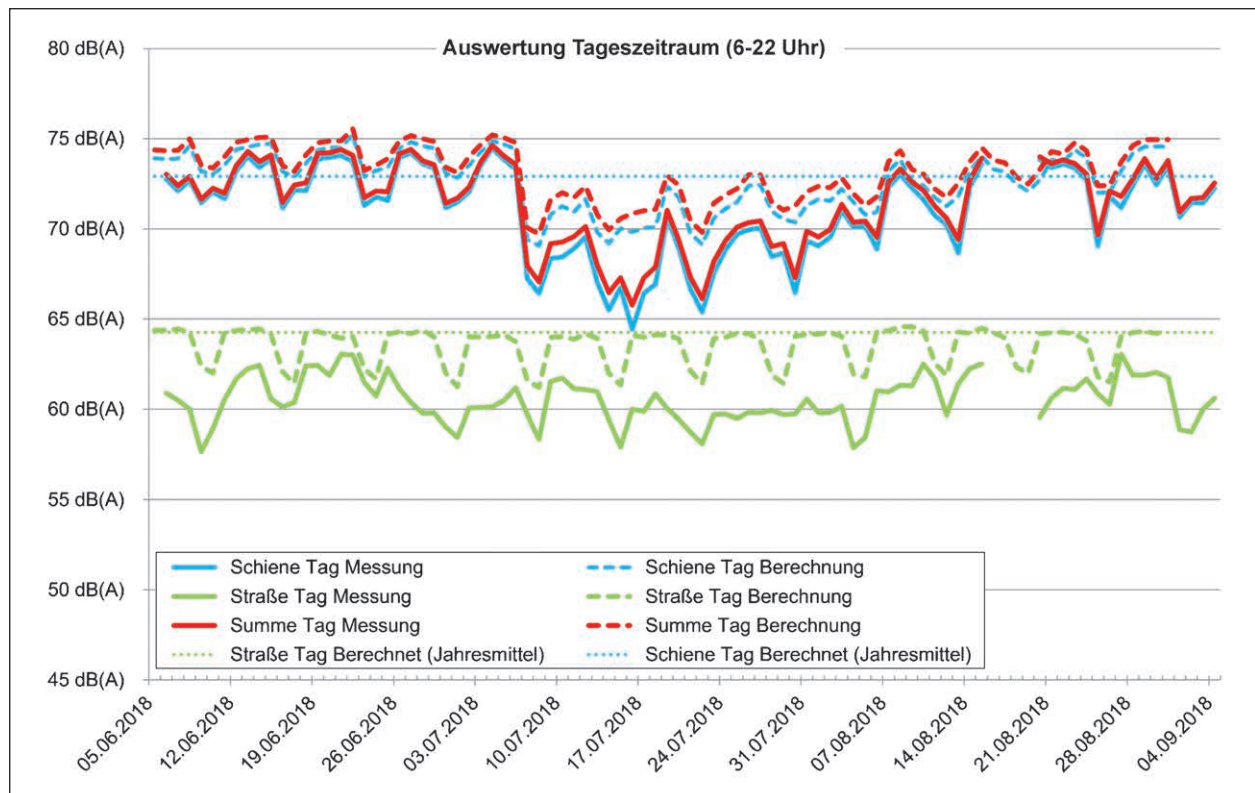


Bild 38: Auswertung Messung und Berechnungen – Tagzeitraum

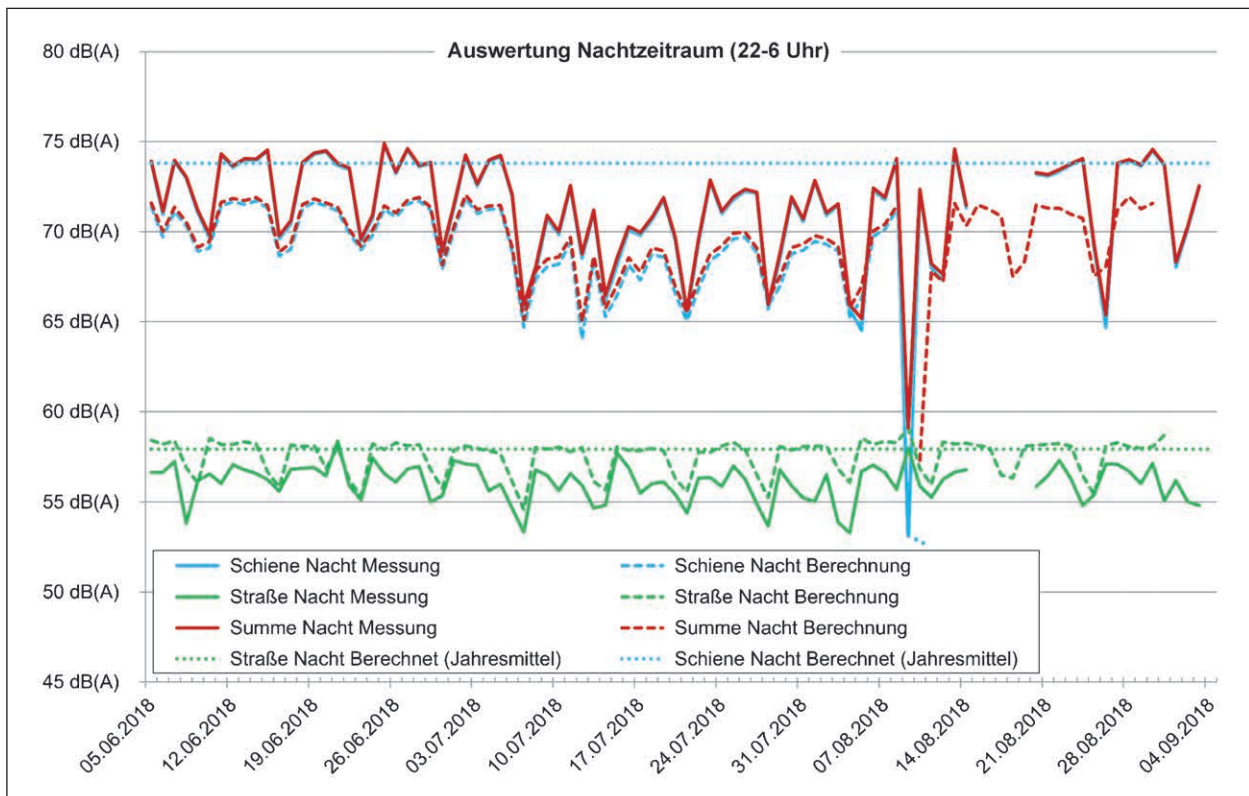


Bild 39: Auswertung Messung und Berechnungen – Nachtzeitraum

teren Berechnungen, auch über das gesamte Jahr (bzw. im Vergleich des Untersuchungszeitraums zum Gesamtjahr 2017) sind nur geringe Unterschiede zu erwarten.

Die Variationen in den Messergebnissen werden nach vertiefter Betrachtung weiterer Parameter auf meteorologische Bedingungen, insbesondere die Temperatur zurückgeführt. Im Messzeitraum herrschten teilweise Temperaturen von über 25° C im Tagesmittel vor. In den harmonisierten europäischen Rechenvorschriften zum Umgebungslärm (CNOSSOS-EU) gibt es zur Umgebungstemperatur eine mögliche Korrektur, mit der sich diese Abweichungen erklären lassen.

Für den Schienenverkehr ergeben sich sowohl für den Tag- als auch den Nachtzeitraum Abweichungen zwischen den berechneten Tagespegeln sowie dem berechneten Jahresmittel. Hierbei ist zu beachten, dass für die Tagespegel eine Korrektur des Anteils von Verbundbremsen (auf 60 %) vorgenommen wurde.

Die Verläufe der Tagespegel zeigen beim Schienenverkehr sehr deutliche Variationen. Bedingt durch Baustellen auf der Strecke sowie vereinzelte Streckensperrungen (Sturmtief) verringert sich der Ver-

kehr teilweise signifikant, was sich auch auf die Beurteilungspegel auswirkt. Ansonsten zeigt der Wochengang ähnliche Ausprägungen wie der Straßenverkehr.

Insgesamt zeigt sich, dass der Schienenverkehrslärm den Beurteilungspegel am Messpunkt dominiert. Dies ist sowohl am Tag als auch in der Nacht der Fall, wobei die Pegelunterschiede im Schienenverkehrslärm zwischen Tag und Nacht nur gering ausfallen. Der Straßenverkehrslärm liegt in der Nacht rund 8 dB unter dem am Tag.

2.4.5 Bewertung der Ergebnisse aus Messungen und Berechnungen

Die Messungen zeigen für ein typisches Kreuzungsgebiet zweier Lärmquellen eine durch Fremdquellen und Abschirmung weitgehend unbeeinflusste Situation. Die Ergebnisse können daher bezogen auf die Emissionen und eine noch unbeeinflusste Immission als Grundlage zur Übertragung auf weitere räumliche Belastungssituationen herangezogen werden.

Bei der Betrachtung der Pegelzeitverläufe eines Tages zeigt sich, dass der Straßenverkehr über den

Großteil der Zeit die Gesamtlärmsituation dominiert. Dies ist insbesondere im Nachtzeitraum der Fall (siehe Bild 37), wo teilweise für 15 Minuten keine Schallereignisse aus dem Schienenverkehr zu erwarten sind. Im Tagzeitraum ist die Zugfrequenz am Messort deutlich höher, sodass selten Pausen zwischen zwei Zügen von mehr als fünf Minuten auftreten (siehe Bild 36). Hinsichtlich der Zeitstruktur (siehe auch Kapitel 2.1.5) liegen somit deutliche Unterschiede zwischen Tag- und Nachtzeitraum vor: Im Tagzeitraum ist neben der reinen Dominanz des Schienenverkehrs im Mittelungspegel auch bei zeitlicher Betrachtung zu erwarten, dass der Schienenverkehr weitgehend dominierend ist. Auf der untersuchten Strecke vergehen zwischen zwei Zugvorbeifahrten selten mehr als fünf Minuten. Bei weniger frequentierten Strecken kann sich dies abweichend darstellen. Damit der Mittelungspegel des Schienenverkehrs um die festgestellten 6-9 dB niedriger und somit gleichauf mit dem Straßenverkehr liegt, müsste der Schienenverkehr auf rund 1/4 bzw. 1/8 reduziert werden.

Die Betrachtung der Pegelzeitverläufe über den gesamten Untersuchungszeitraum (Bild 38 und Bild 39) mit täglich schwankenden Beurteilungspegeln zeigt, dass insbesondere im Schienenverkehr stärkere Variationen auftreten. Im festgestellten Fall wurde der Verkehr durch eine umfangreiche Baustelle vermindert.

Meteorologische Effekte können ebenfalls über das Jahr einen Einfluss auf die Schallpegel haben. Durch unterschiedliche Ausbreitung je nach Windrichtung können einzelne Quellen lauter oder leiser wahrgenommen werden. Bei der Straße kann zudem eine Temperaturabhängigkeit bereits bezogen auf die Emissionen eintreten.

Insgesamt zeigt sich, dass allein der Mittelungspegel die Variationen bei einer Situation mit Einwirken mehrerer Quellen nicht vollständig abbilden kann. Je nach betrachteten Parametern, hinzu kommen in der Realität auch weitere Fremdgeräusche sowie Effekte durch Abschirmungen und Reflexionen, können die tatsächlichen Schallpegel und die damit ggf. verbundene Lärmbelästigung abweichen. Im weiteren Projektverlauf wurde das Untersuchungsgebiet auch mit einer fiktiven Bebauung ergänzt (siehe Kapitel 6.3). In diesem Modellgebiet wurde festgestellt, wie sich der Schienenverkehrslärm bei Abschirmung und Reflexion im Vergleich zur überwiegenden Dominanz bei freier Ausbreitung verändert.

2.4.6 Wirkungsabschätzung zu Minderungsmaßnahmen

Am Messort ergibt sich aus den Ergebnissen der Messung sowie der Berechnung, dass der Schienenverkehrslärm den Mittelungspegel dominiert. Ausgehend von den zuvor festgestellten zeitlichen Verteilungen sowie Pegelabständen zwischen den beiden Lärmquellen soll eine kurze theoretische Betrachtung möglicher Lärminderungsmaßnahmen erfolgen.

Ausgangspunkt für die Betrachtungen sind ein Mittelungspegel durch Schienenverkehrslärm von rund 74,0 dB(A) und ein Mittelungspegel durch Straßenverkehr von 64,0 dB(A). Die maximalen Pegel liegen zur Zeit einer Zugvorbeifahrt bei bis zu 90,0 dB(A), der Straßenverkehrslärm ist weitgehend konstant. Aus dem Schienen- und Straßenverkehr ergibt sich eine energetische Pegelsumme von 74,4 dB(A).

2.4.6.1 Emissionswirksame Maßnahmen an der Schienenstrecke

Aufgrund der Dominanz des Schienenverkehrs bietet es sich an, Maßnahmen an dieser Quelle anzusetzen. Eine emissionswirksame Maßnahme, die die Emissionen der Schienenstrecke vermindert (Maßnahmen am Gleis oder an den Fahrzeugen) wirkt sich direkt auf den Mittelungspegel sowie den Maximalpegel der Schienenstrecke aus. Bei einer angenommenen Minderung von 3,0 dB ergeben sich somit:

- Mittelungspegel der Schienenstrecke: 71,0 dB(A),
- Mittelungspegel der Straße: 64,0 dB(A),
- Pegelsumme (energetisch): 71,8 dB(A),
- Maximalpegel (Schiene): 87,0 dB(A).

In der Gesamtbewertung ergibt die Maßnahme somit eine Pegelminderung von 2,6 dB. Bei der Berücksichtigung der Zeitstruktur hingegen fällt auf, dass die zeitliche Wirksamkeit der Maßnahme stark eingeschränkt ist. Die Lärminderung wäre nur während der kurzen Zeiten der Zugvorbeifahrten wahrnehmbar.

2.4.6.2 Emissionswirksame Maßnahme an der Straße

Bei einer emissionswirksamen Maßnahme an der Straße (etwa durch einen lärmarmen Straßenbelag) sind aufgrund der Dominanz des Schienenverkehrslärms keine relevanten Effekte auf den Mittelungspegel zu erwarten. Bei einer angenommenen Minderung von 3,0 dB ergeben sich:

- Mittelungspegel der Schienenstrecke: 74,0 dB(A),
- Mittelungspegel der Straße: 61,0 dB(A),
- Pegelsumme (energetisch): 74,2 dB(A).

In der Gesamtbewertung ist die Maßnahme mit einer Minderung von nur 0,2 dB im Mittelungspegel nur eingeschränkt wirksam. Für die längeren Zeiträume, in denen keine Zugvorbeifahrt stattfindet, ergibt sich jedoch eine effektive Lärminderung.

2.4.6.3 Abschirmende Maßnahme

Als Alternative zu emissionswirksamen Maßnahmen stehen abschirmende Maßnahmen zur Verfügung. Diese wirken potenziell auf beide Quellen, dies wäre bei einer Maßnahme im Kreuzungsbereich auch am Messort der Fall.

Bei entsprechender Dimensionierung ließen sich Wände so vorsehen, dass sowohl die Maximalpegel einer Quelle effektiv gemindert werden, zum anderen aber eine effektive Minderung des Mittelungspegel der zweiten Quelle erreicht wird.

2.5 Fazit und erste Empfehlungen

Aus den Untersuchungen sowohl zur Theorie als auch in Realsituationen ergeben sich verschiedene Aspekte, die beim Umgang mit Lärmkumulationen betrachtet werden sollten.

Die theoretischen Untersuchungen zeigen, dass der rechnerische Bereich einer Lärmkumulation räumlich sehr klein ausfällt. Nur in einem sehr engen räumlichen Bereich wirken zwei Quellen so auf die Gesamtbelastung ein, dass weder die eine noch die andere den Mittelungspegel dominiert. Somit sind auch jene Bereiche, in denen eine „gemeinsame“ Lärminderungsmaßnahme (i. d. R. Abschirmung) eine Wirkung für beide Quellen entfaltet, sehr begrenzt. Abhilfe können hier nur verkehrsträ-

gerspezifische Maßnahmen sein, die zudem miteinander abgestimmt werden können.

Aus der Untersuchung der Lärmaktionspläne geht hervor, dass das Thema Gesamtlärm bzw. Mehrfachbelastung in den Städten und Gemeinden bisher wenig Berücksichtigung gefunden hat. Im Rahmen der Onlinebeteiligung wurden jedoch Hinweise auf eine mögliche Lärmwirkung bei Mehrfachbelastungen gegeben. Im Wesentlichen wurden Mehrfachbelastungen bei der Betrachtung Ruhiger Gebiete in den Lärmaktionsplänen berücksichtigt. Ein einheitliches Verfahren konnte nicht identifiziert werden.

Aufbauend auf den Daten der Lärmkartierung wurde für ein Stadtgebiet eine exemplarische Auswertung durchgeführt, die relativ schnell und einfach einen Überblick über mögliche schalltechnische Konfliktgebiete liefert.

Aus der In-situ-Messung im Bereich einer Lärmkumulation ergeben sich relevante Hinweise für den notwendigen Umgang mit Situationen, in denen der Mittelungspegel aus kurzen Zeitintervallen mit hoher Belastung resultiert. Eine quellbezogene Minderung der dominierenden Quelle (z. B. durch Maßnahmen am Gleis) würde sich im Mittelungspegel fast vollständig zeigen und den Summenpegel reduzieren, die Lärminderung wäre jedoch nur während der kurzen Zeiten der Zugvorbeifahrten wahrnehmbar. Eine Emissionsminderung in gleicher Immissionssituation an der Straße hingegen würde den Mittelungspegel und damit auch den Mittelungspegel hingegen nicht relevant reduzieren. Wahrnehmbar wäre eine Minderung des Straßenverkehrslärms jedoch für lange Zeiträume zwischen den Zugvorbeifahrten.

In den angestellten Betrachtungen zur Gesamtbelastung durch mehrere Quellen, insbesondere in den Kapitel 2.1.1 und 2.1.2 zum Einflussbereich und der möglichen Pegelminderung wurde von einer energetischen Addition ausgegangen.

Aufbauend auf den Ergebnissen empfahl sich für die weitere Bearbeitung:

- Eine schalltechnische Rasterberechnung spiegelt aufgrund von Abschirmungen und Reflexionen meist nicht die tatsächliche Immissionssituation an Gebäuden wider. Aufgrund der hohen Sensitivität bezüglich des örtlichen Auftretens einer Kumulation sind in jedem Fall punktgenaue Berechnungen am Gebäude durchzuführen.

- Da sich die Emissionen verschiedener Quellen zwischen dem Tag- und Nachtzeitraum stark voneinander unterscheiden, sind zur Beurteilung einer Lärmkumulation jeweils der Tag- und Nachtzeitraum getrennt zu betrachten. Eine am Tag klar von einer Quelle dominierte Situation kann im Nachtzeitraum eine Lärmkumulation sein.
- Unter Umständen sollten, zur Berücksichtigung der Belästigung, Maßnahmen auch außerhalb gleicher Pegel bzw. von Schwellenwertüberschreitungen des Mittelungspegels angedacht werden. Dies ist zum Beispiel durch stark unterschiedliche Lärmwirkung bei unterschiedlicher Zeitstruktur relevant. Derzeit gibt es jedoch noch kein verbindliches Verfahren, um dies zu berücksichtigen.

Die Auswertung von Lärmkumulationen in Modellgebieten zeigt, dass das Auftreten von Lärmkumulation insbesondere bei kreuzenden Quellen deutlich von der von Abschirmung und Reflexion beeinflussten Ausbreitung abhängt. Zudem wirkt sich auch ein Unterschied in den Emissionen sehr stark auf die Immissionsituation und das mögliche Vorliegen von Lärmkumulationen aus. Aus den Modellberechnungen ließen sich keine allgemeingültigen Aussagen zu effektiven Lärmschutzmaßnahmen ableiten.

Anstelle exemplarischer Maßnahmen an wenigen Modellgebieten wurde daher ein allgemeiner Umgang mit Lärmkumulationen angestrebt werden. Hierbei ist es wichtig jeweils für einen Bereich bzw. Immissionsort zu identifizieren, welche Maßnahmenwirkung an welcher Lärmquelle für eine Einhaltung definierter Schutzziele nötig ist.

Im entwickelten Verfahren zum Umgang mit Lärmkumulationen (siehe Kapitel 4) sollen alle vier Lärmarten – Straße, Schiene, Flug und Schiff – angemessen berücksichtigt werden. Da der relevante Einfluss von drei Quellen an einem Immissionsort unwahrscheinlich ist, wird der Schwerpunkt auf einer Methode für zwei Lärmquellen liegen.

3 Grundlagen der Berechnung und Bewertung von Lärm

Aufbauend auf den Grundlagen zu Lärmkumulationen sowie den ersten Empfehlungen wurden weitere Grundlagen insbesondere im Hinblick auf die Be-

rechnung und Bewertung des Lärms unterschiedlicher Quellen erarbeitet.

Zur Bewertung der Lärmbelastung sind in Kapitel 3.1 zusammenfassend sowohl Aspekte der Lärmwirkung sowie möglicher Gesundheitseffekte als auch die in Richtlinien und Gesetzen festgeschriebenen Grenz-, Richt- und Orientierungswerte als gängige Schutzziele dokumentiert.

Die Ermittlung der Lärmbelastung aufgrund rechnerischer Methoden bildet in der Regel die Grundlage für die eigentliche Bewertung. Es existieren verschiedene Verfahren zur Berechnung der Beurteilungspegel, die sich in mehreren Aspekten unterscheiden können. Auch zur Kombination mehrerer Lärmquellen existieren verschiedene Methoden, die zu Unterschieden in der Bewertung führen könnten. Sowohl für die Berechnung der Beurteilungspegel als auch für die Kombination wurde eine Auswahl von Methoden anhand von Berechnungen verglichen. Die relevanten Effekte bezogen auf Lärmkumulationen werden in Kapitel 3.2 herausgestellt, um dies bei der Entwicklung eines Verfahrens bei Lärmkumulation berücksichtigen zu können.

Zur Bewertung einer Lärmsituation, insbesondere in Hinblick auf eine Bewertung verschiedener Lärminderungsmaßnahmen, sind zudem quantitative Methoden vorzusehen, die in Kapitel 3.3 vorgestellt werden. Diese können abhängig von unterschiedlichen Zielparametern eine Priorisierung von Maßnahmen und zudem auch eine Bewertung unter anderem unter Nutzen-Kosten-Aspekten ermöglichen (Kapitel 3.3.1 bis 3.3.2). Zur Kostenverteilung bei gleichzeitig einwirkenden Quellen sowie gegebenenfalls für mehrere Verkehrsträger wirkende Maßnahmen existieren mehrere Methoden, die in Kapitel 3.3.3 vorgestellt werden.

3.1 Bewertung der Lärmbelastung

Die Bewertung einer Lärmbelastung kann anhand von Wirkungseffekten erfolgen, zu denen unter anderem die Belästigung sowie potenzielle Gesundheitseffekte gehören. Es gibt dabei keine klare Schwelle von Lärmpegeln mit und ohne Wirkung.

Um eine verlässliche Grundlage für eine Lärmbewertung zu haben, sind daher in unterschiedlichen Richtlinien und Gesetzen Schutzziele definiert, die sich in der Regel an verschiedenen Kriterien orientieren. Hierzu gehören unter anderem die Schutz-

bedürftigkeit sowie die jeweils zu akzeptierenden Wirkungen.

3.1.1 Forschung zur Lärmwirkung

Neben der Belästigung, die als psychische Beeinträchtigung verstanden werden kann, erzeugt Umgebungslärm auch weitere körperlich gesundheitliche Auswirkungen verschiedener Ausprägungen. Nach Satzung der WHO ist Gesundheit dabei „ein Zustand völligen körperlichen, seelischen und sozialen Wohlbefindens und nicht nur das Freisein von Krankheit oder Gebrechen“ [32].

Eine aktuelle zusammenfassende Studie zu den gesundheitlichen Auswirkungen von Lärm hierzu sind die WHO Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region [33]. In diesen wird unterschieden nach „entscheidenden gesundheitlichen Auswirkungen“ sowie „wichtigen gesundheitlichen Auswirkungen“. Zu den entscheidenden Auswirkungen gehören unter anderem Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Schlafstörungen sowie kognitive Beeinträchtigungen, zu den wichtigen Auswirkungen unter anderem pränatale Beeinträchtigungen sowie Auswirkungen auf die Lebensqualität in Form von Lärmbelästigung.

3.1.1.1 Belästigung

Bereits in den 1950er Jahren begann die Untersuchung der Belästigung von Menschen, ausgelöst durch die steigende Lärmbelastung durch Luftverkehr [34]. Die Belästigungsreaktion der Betroffenen ist auch von deren Einstellung zu den Lärmquellen abhängig. Da nach Auffassung der Lärmwirkungsforschung die Belästigung die Hauptwirkung des Umweltlärms darstellt, soll diese als Hauptgröße für die Beurteilung der Betroffenheit im Tagzeitraum verwendet werden.

Die auftretende Lärmbelästigung wird nicht ausschließlich durch akustische und somit physikalisch messbare Größen geprägt. Durch einen Mittelungspegel oder Beurteilungspegel z. B. kann ein Teil der Belästigung erklärt werden [35]. Darüber hinaus spielen weitere akustische Größen (Anzahl der Lärmereignisse und Dauer der Pausen, Maximalpegel, Pegelanstieg, ...) sowie psychologische Faktoren wie Vermeidbarkeit des Lärms, das Gefühl des Ausgeliefertseins oder persönliche Befindlichkeiten eine wichtige Rolle für die erlebten Auswirkungen des Lärms [34,36,37].

Aktuelle Untersuchungen lassen eine gestiegene Empfindlichkeit der Bevölkerung gegenüber Lärmbelastungen vermuten, so dass im Vergleich zu früheren Jahren bereits deutlich geringere Dauerschallpegel ausreichen, um vergleichbare Belästigungsreaktionen auf Seiten Betroffener hervorzurufen [38,39,40].

Eine mögliche Bewertung von Lärmbetroffenheiten kann auf Grundlage der 2001 erschienenen Studie von MIEDEMA und OUDSHOORN [41] erfolgen. Diese basiert auf Daten von 20 Studien aus den Jahren 1965 bis 1989, die mit Methoden der Meta-Analyse zusammengefasst wurden. Lediglich acht Studien wurden nach 1980 durchgeführt.

Die Studie von MIEDEMA UND OUDSHOORN bildet auch die Datengrundlage für die VDI 3722-2. Eine aktuelle Meta-Analyse wurde im Jahr 2017 veröffentlicht [42]. Ein Vergleich der Dosis-Wirkungsbeziehungen ist in Kapitel 3.1.2.2 dargestellt.

Ergänzend zur NORAH-Studie wurde vom Land Hessen eine Studie zur Berücksichtigung eines Maximalpegelkriteriums bei der Beurteilung von Schienenverkehrslärm in der Nacht [43] in Auftrag gegeben. Die Studienergebnisse beziehen sich auf die Aufwachreaktionen im Nachtzeitraum sowie die selbstberichtete hohe Schlafstörung (%HSD). Für die Interpretation der der NORAH-Studie zugrunde liegenden Daten wird vorgeschlagen, die Lärmbelästigung in der Nacht nicht nur auf Basis von Mittelungspegeln zu bewerten. Je nach Randbedingungen kann es in Einzelfällen sinnvoll sein, die Anzahl der Ereignisse und die Höhe der Maximalpegel zu erheben. Das vorgeschlagene Verfahren ermittelt hieraus die Anzahl der Aufwachreaktionen in der Nacht.

3.1.1.2 Gesundheitseffekte

Die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von Lärm wurden zum Beispiel anhand des Fluglärms bereits Ende der 1970er Jahre in Untersuchungen behandelt. Es wurde damals gezeigt, dass Fluglärm zu einem erhöhten Krankheitsrisiko bei Herz- und Kreislaufkrankheiten führen kann [44,45,46]. Zusammenhänge gibt es insbesondere zwischen Risiko erhöhten Bluthochdrucks und damit verbundener Erkrankungen und Belastungen durch nächtlichen Luftverkehr [47,48].

Auch im deutschen Forschungsverbundprojekt NORAH (Noise Related Annoyance, Cognition and

Health) wird ein Wirkungszusammenhang zwischen Verkehrsgeräuschen und verschiedenen Krankheitsbildern belegt [40]. Der dargestellte Forschungsstand zeigt, dass ein Wirkungszusammenhang zwischen Verkehrsgeräuschen und erhöhten Risiken für die Erkrankung an verschiedenen Krankheiten besteht. Hierzu gehören neben Tinnitus auch psychische Erkrankungen und Krebserkrankungen sowie in erster Linie Herz-Kreislauf-Erkrankungen.

Zum Zusammenhang zwischen Verkehrslärm und gesundheitlichen Auswirkungen sind in den letzten Jahren zudem eine Vielzahl von Übersichtsarbeiten und eine Meta-Analyse erschienen [49,50], die den jeweiligen Forschungsstand zusammenfassen. Aktuell wurde eine Analyse existierender Untersuchungen auch in den WHO Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region [33] durchgeführt, die Empfehlungen zum Schutz der menschlichen Gesundheit vor Umgebungslärm geben.

3.1.2 VDI 3722-2

Im Mai 2013 hat der Verein Deutscher Ingenieure die VDI 3722-2 „Wirkung von Verkehrsgeräuschen – Kenngrößen beim Einwirken mehrerer Quellenarten“ herausgegeben. Die Richtlinie fasst wissenschaftliche Aussagen über Straßen-, Schienen- und Luftverkehrslärm zusammen und gibt einen Überblick über die damals bekannten Wirkungen auf den Menschen. Berücksichtigt wird neben dem aktuellen Kenntnisstand zur kombinierten Einwirkung unterschiedlicher Quellenarten auch die damit verbundene Expositions-Wirkung beim Menschen.

Grundlage der Expositions-Wirkungs-Beziehungen ist eine Veröffentlichung der EAA [51] aus dem Jahre 2010, die wiederum die Zusammenhänge aus einer Veröffentlichung der EU-Kommission [52] aus dem Jahr 2002 aufgreift. Diese Veröffentlichung ist inhaltlich identisch mit der von MIEDEMA und OUDSHOORN [41].

Für die Verkehrsträger Straßen-, Schienen- und Flugverkehr werden Bewertungsfunktionen für Belästigung (%A/%HA) sowie selbstberichtete Schlafstörung (%SD/%HSD) gegeben. Mithilfe des in der VDI veröffentlichten „Substitutionsverfahren“ kann die Lärmwirkung auch jeweils in Bezug zu einer Vergleichsgröße (in diesem Fall dem Straßenverkehrslärm) ermittelt werden. Hierzu werden die Mittelungspegel aus Luft- und Schienenverkehr auf wirkungsäquivalente Pegel zum Straßenverkehr

umgerechnet. Im Ergebnis lässt sich mit der VDI 3722-2 der Anteil belästigter Personen in einem Gebiet ermitteln und für eine Bewertung heranziehen. Das Verfahren wird im Rahmen der Kombination mehrerer Quellen in Kapitel 3.2.2.5 detaillierter vorgestellt.

Die Richtlinie hebt hervor, dass bei der Bewertung der Beeinträchtigung beim derzeitigen Stand der Forschung keine allgemeingültige Antwort möglich und die dort vorgeschlagene Vorgehensweise deshalb „als vorläufig zu betrachten“ ist. Es wird konkret auch aufgeführt: „Bei Vorliegen von neueren Erkenntnissen über Expositions-Wirkungsbeziehungen sollten diese geprüft und können gegebenenfalls entsprechend dem im Anhang A dargestellten Verfahren verwendet werden.“

3.1.2.1 WHO-Review

Im Jahr 2017 wurde eine systematische Zusammenfassung von Studien zu Umgebungslärm und Belästigung im Auftrag der WHO durchgeführt. Dieses WHO-Review [42] berücksichtigt verschiedene Studien sowohl zu Einzelquellen (Straßen-, Schienen- und Flugverkehr sowie Windkraftanlagen) sowie auch zu Kombinationen verschiedener Quellen. Insgesamt flossen 57 Studien aus den Jahren 2000 bis 2014 in diese Meta-Analyse ein.

Für die Verkehrslärmquellen wurden jeweils Exposition-Wirkungs-Beziehungen für stark Belästigte („highly annoyed“, %HA) abgeleitet, die im folgenden Kapitel mit denen der VDI 3722-2 verglichen werden.

Für Effekte bei gleichzeitigem Einfluss mehrerer Quellen wurden im Review fünf Studien identifiziert, die alle eine Kombination von Straßenverkehr mit weiteren Quellen untersuchten. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass zu wenige Studien für bestimmte Kombinationen (Straße-Schiene, Straße-Flug) vorlagen, um hiermit eine Meta-Analyse durchzuführen. Es wird darauf hingewiesen, dass bei der Belästigung die Dominanz der lautesten Quelle relevant ist.

3.1.2.2 Mögliche Anpassung der VDI 3722-2 nach WHO-Review

Die Ergebnisse des WHO-Review flossen im Rahmen des Modells zur Gesamtlärbewertung des UBA [9] auch in eine zu untersuchende Weiterentwicklung der VDI 3722-2 ein.

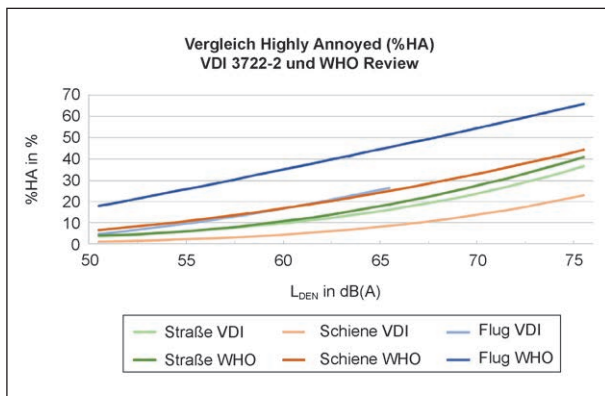


Bild 40: Vergleich der Dosis-Wirkungs-Beziehung %HA nach VDI 3722-2 sowie WHO-Review (nach Daten aus [42])

Für die Kenngrößen stark Belästigte („highly annoyed“, %HA) und stark Schlafgestörte („highly sleep disturbed“, %HSD) werden die jeweiligen aktualisierten Funktionen aufgeführt, die sich durch die Berücksichtigung aktueller Studien (2000-2014) ergeben. Ein Vergleich der Funktionen für %HA ist in Bild 40 dargestellt. Es zeigt sich, dass ausgehend von den neueren Studien besonders für Flug- und Schienenverkehrslärm höhere Belästigungsreaktionen zu erwarten sind als in der VDI 3722-2. Die Gründe für die Unterschiede können nach WHO-Review [42] nicht in allen Fällen benannt werden. Für den Straßenverkehr liegt die im UBA-Vorhaben [9] betrachtete Auswahl an Kurven zum Teil (für $L_{DEN} < 70$ dB(A)) innerhalb des Konfidenzintervalls der früheren Studien von MIEDEMA und OUDSHOORN [41].

Die Daten für den Straßenverkehr weichen nur geringfügig voneinander ab. Der Schienenverkehr wird gemäß den neuen Funktionen jedoch als stärker belästigend empfunden als der Straßenverkehr. Für das Substitutionsverfahren (siehe im Detail auch Kapitel 3.2.2.5) bedeutet dies, dass die Belästigung des Schienenverkehrs als Ersatzpegel einen höheren „Straßenverkehrspegel“ erhält und somit statt einer Pegelminderung zum renormierten Ersatzpegel eine Pegelerhöhung eintreten wird.

Der Flugverkehr nimmt in der Belästigungswirkung deutlich zu. Im Substitutionsverfahren ergibt sich ein nochmals höherer, wirkungsäquivalenter „Straßenverkehrspegel“. Der Flugverkehr ist bei gleichen Beurteilungspegeln durch die hohe Belästigungswirkung in etwa so belästigend wie um etwa 10-15 dB lauterer Straßenverkehrslärm. Der Flugverkehr wäre somit bereits bei deutlich geringeren Pegeln allein dominierend.

3.1.3 Schutzziele

Für die Bewertung einer Lärmsituation ist es in der Regel unerlässlich, ein Schutzziel in Bezug auf einen zu erreichenden Lärmpegel zu definieren. Eine absolute Ruhe kann auch in ländlichen Gebieten nicht geschaffen werden, das Schutzziel muss somit eine realistische Höhe haben.

Nach § 50 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) und dem darin enthaltenen Trennungsgebot sind bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen, die für eine bestimmte Nutzung vorgesehenen Flächen einander so zuzuordnen, dass schädliche Umwelteinwirkungen auf die ausschließlich oder überwiegend dem Wohnen dienenden Gebiete sowie auf sonstige schutzbedürftige Gebiete so weit wie möglich vermieden werden.

Ein Schutzziel definiert sich somit einerseits über die Schutzbedürftigkeit, die meist anhand möglicher Wohnnutzungen festgemacht wird, den Beurteilungszeitraum (meist Tag oder Nacht) sowie der Verbindlichkeit des Ziels (Grenz-, Richt- oder Orientierungswert).

3.1.3.1 Bauleitplanung

Die Beurteilung der Geräuscheinwirkungen durch den Straßen- und Schienenverkehr erfolgt in der Bauleitplanung in der Regel auf Grundlage der DIN 18005. Orientierend kommt, zur Abwägung der Erheblichkeit der Lärmbelastung, auch die Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) zum Tragen. Die DIN 18005 stellt dabei in Form von Orientierungswerten in der Regel höhere Anforderungen als die 16. BImSchV. Für Allgemeine Wohngebiete sind dies am Tag zum Beispiel 55 dB(A) (DIN 18005) und 59 dB(A) (16. BImSchV), in der Nacht 45 dB(A) bzw. 49 dB(A).

3.1.3.2 Neubau und wesentliche Änderung von Verkehrswegen

Nach § 41 BImSchG gilt: „Bei dem Bau oder der wesentlichen Änderung öffentlicher Straßen sowie von Eisenbahnen, Magnetschwebebahnen und Straßenbahnen ist unbeschadet des § 50 sicherzustellen, dass durch diese keine schädlichen Umwelteinwirkungen durch Verkehrsgeräusche hervorgerufen werden können, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind.“ Die Schutzziele beim Bau oder der wesentlichen Änderung von öffentlichen Straßen oder Schienenwegen sind durch

die Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) definiert. Die Grenzwerte betragen z. B. für Allgemeine Wohngebiete 59 dB(A) tags, 49 dB(A) nachts, für Dorf-, Kern- und Mischgebiete 64 dB(A) tags, 54 dB(A) nachts.

Ist die Notwendigkeit von Lärmschutzmaßnahmen nachgewiesen, d. h. bestehen Ansprüche auf Lärmschutz „dem Grunde nach“, weil in der Nachbarschaft die Immissionsgrenzwerte durch den Lärm der geplanten Verkehrswegen überschritten werden, sind vorrangig aktive Lärmschutzmaßnahmen, d. h. Maßnahmen an der Straße bzw. Schiene, vorzusehen. Aus der Sicht der Straßenplanung kommen als aktive Maßnahmen lärmindernde Straßenoberflächen und Schallschirme, Lärmschutzwände oder -wälle in Frage.

Im § 41 BImSchG heißt es in Absatz 2 weiter: „Absatz 1 gilt nicht, soweit die Kosten der Schutzmaßnahme außer Verhältnis zu dem angestrebten Schutzzweck stehen würden.“ Obwohl also das Gesetz den Vollschutz, d. h. die Einhaltung der Grenzwerte an allen Gebäuden, Terrassen etc. in Form eines aktiven Lärmschutzes anstrebt, unterliegen die Schutzmaßnahmen einer Verhältnismäßigkeitsprüfung. In die Abwägung für die Dimensionierung der Schutzmaßnahmen ist das Kosten-Schutzzweck-Verhältnis zu berücksichtigen.

Um die Grenzwerte einzuhalten, sind vorrangig Maßnahmen des aktiven Schallschutzes vorzusehen. Wenn diese Maßnahmen unverhältnismäßig sind (im Sinne des § 41 Abs. 2 BImSchG), sind Maßnahmen des passiven Schallschutzes vorzusehen, um die Grenzwerte einzuhalten. Hierfür kann der Eigentümer einer betroffenen Anlage dann Entschädigung verlangen (§ 42 BImSchG).

3.1.3.3 Lärmsanierung

Für bestehende Verkehrswege sind als Schutzziel im Rahmen der Lärmsanierung an Bundesfernstraßen und Eisenbahnen des Bundes wiederum höhere Auslösewerte als bei Neubau und wesentlicher Änderung maßgeblich. Diese liegen z. B. für Wohngebiete bei 67 dB(A) tags, 57 dB(A) nachts. Für Dorf-, Kern- und Mischgebiete liegen sie um 2 dB höher.

3.1.3.4 Rechtsprechung

Ein weiteres Schutzziel lässt sich auch durch potenzielle Gesundheitsgefahren definieren. Als soge-

nannte „grundrechtliche Zumutbarkeitsschwelle“⁵ wird für Wohngebiete in der Rechtsprechung von Mittelungspegeln von 70 dB(A) tags und 60 dB(A) nachts ausgegangen⁶. Auch der Umweltleitfaden VI des Eisenbahnbundesamtes [53] sieht eine Kausalität zwischen Bau/Änderung und einer gesundheitsgefährdenden Verkehrslärmbelastung als notwendig an. Oberhalb dieser Grenze ist eine Abwägung zum Gesamtlärm durchzuführen, sofern die Lärmbelastung durch das geplante Vorhaben ansteigt.

Nach ständiger Rechtsprechung des Bundesverwaltungsgerichts ist beim Bau oder der wesentlichen Änderung von Verkehrswegen sicherzustellen, dass durch diese keine schädlichen Umwelteinwirkungen hervorgerufen werden. Maßgeblich ist dabei ein „Zurechnungszusammenhang zwischen dem Vorhaben und der Lärmbelastung“⁷. Eine Summenpegelbildung kann jedoch dann geboten sein, wenn der neu zu bauende oder zu ändernde Verkehrsweg zusammen mit den Vorbelastungen aus einem bereits vorhandenen Verkehrsweg insgesamt zu einer Lärmbelastung führt, die mit Gesundheitsgefahren verbunden ist⁸.

Gegenüber der Rechtsprechung erwähnen Veröffentlichungen der Lärmwirkungsforschung bereits seit mehreren Jahren, dass auch oberhalb von 65 dB(A) tags bzw. 55 dB(A) nachts (jeweils Mittelungspegel) mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Risikoerhöhung für Herz-Kreislauf-Erkrankungen eintritt (u. a. [54]). Die WHO [33] empfiehlt (abhängig von der Lärmquelle), die Lärmbelastung ganztags (L_{DEN}) auf weniger als 53 dB(A) (Straßenverkehr) bzw. 54 dB(A) (Schienenverkehr), nachts (L_{Night}) auf weniger als 45 bzw. 44 dB(A) zu verringern, um schädliche gesundheitliche Auswirkungen bzw. Beeinträchtigungen des Schlafes zu vermeiden. Von einigen Lärmwirkungsforschern auf Einladung der Landesregierung Baden-Württemberg wird aufgrund der hohen Differenz zwischen der bisherigen Rechtsprechung und der hohen Anforderungen der WHO ein Ziel von 65 dB(A) tags und 55 dB(A) empfohlen [55].

⁵ Vgl. z. B. BVerwG, Urteil vom 15.12.2011 – 7 A 11.10, BVerwG, Urteil vom 9. Juli 2008 – 9 A 5.07

⁶ Vgl. z. B. BVerwG, Urteil vom 10. November 2004 – 9 A 67.03; BVerwG, Urteil vom 23. Februar 2005 – 4 A 5.04

⁷ Vgl. z. B. BVerwG, Urteil vom 6. März 2013, 4 BN 39.12

⁸ Vgl. z. B. BVerwG, Urteil vom 20.05.1998 – 11 C 3.97, BVerwG, Beschluss vom 21.03.1996 – 4 C 9.95

3.1.3.5 Maximalpegel

In den meisten Fällen wird bei der Ermittlung einer Lärmbelastung der Mittelungspegel (in der Regel getrennt nach Tag und Nacht oder auch über den Lärmindex L_{DEN}) herangezogen. Maximalpegel finden bei der Beurteilung des Verkehrslärms (mit Ausnahme der Ausweisung von Schutzzonen beim Fluglärm) bislang keine Anwendung. Es wird auch beispielsweise im hessischen Gutachten zu einem Maximalpegelkriterium im Schienenverkehr [43] (siehe Kapitel 3.1.1.1) festgestellt, dass es (auch international) kein Verfahren zur Berücksichtigung von Aufwachreaktionen bzw. Maximalpegeln gibt.

3.1.3.6 Zusammenfassung

Insgesamt ergibt sich somit eine Vielzahl möglicher Werte, die als Schutzziel angesetzt werden können. Teilweise sind die Schutzziele noch von der Nutzung, z. B. Wohnen oder kein Wohnen, abhängig. Die Wahl eines Schutzziels hängt jeweils auch vom jeweiligen Einsatzzweck ab. Idealerweise bieten die anzuwendenden Methoden zur Bewertung die Flexibilität, ein solches variables Schutzziel zu berücksichtigen. Die Bewertung findet in der Regel über den Mittelungspegel statt.

Eine Auswahl möglicher Schutzziele ist in Tabelle 2 dargestellt. Eine umfassende Übersicht der in Deutschland gültigen Grenz-, Richt- und Orientierungswerte in Abhängigkeit des jeweiligen Anwendungsbereiches findet sich u. a. in [56]. An dieser Stelle ist es wichtig zu betonen, dass eine direkte Vergleichbarkeit von den zuvor genannten Schutzzielen nur bedingt gegeben ist. Teilweise weichen die Ermittlungs- und Bewertungsmethoden ab (Be-

urteilungspegel tags (6-22 Uhr) oder Lärmindex L_{DEN}), einige Schutzziele sind z. B. auch nur für Schienen- oder Straßenverkehr anzuwenden.

3.2 Ermittlung der Lärmbelastung

3.2.1 Lärmberechnung

3.2.1.1 Übersicht

Zur Ermittlung der (Beurteilungs-)Pegel von Verkehrslärmquellen werden in Europa unterschiedliche nationale Berechnungsmethoden eingesetzt. Aufgrund der insgesamt sehr hohen Komplexität insbesondere bei der Bild der Schallausbreitung, arbeiten alle Methoden mit Vereinfachungen und haben jeweils einen definierten Anwendungsbereich. Auch bezüglich der Anzahl der zu berücksichtigenden Reflexionen gibt es meist Begrenzungen, ohne die sich in den meisten Fällen eine nicht handhabbare Rechenzeit ergeben würde. Die Ausbreitungsrechnungen erfolgen entweder spektral (etwa in Terzen oder Oktaven) oder für eine bestimmte Frequenz.

Auch bei der Ermittlung der Emissionen bilden die Methoden unterschiedliche nationale Besonderheiten ab. Dies betrifft vor allem die Zusammensetzung Fahrzeugflotten, die Straßenoberflächen aber auch Parameter wie etwa Reifen mit Spikes.

Unter anderem sind die folgenden Regelwerke zur Berechnung von Immissionspegeln gebräuchlich (siehe Tabelle 3).

Bei den Lärmberechnungsverfahren zeigen sich insgesamt deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen europäischen Mitgliedsstaaten. Während in Deutschland nach Quellen getrennte Lärmberechnungsverfahren jeweils sowohl die Emissions- als auch die Transmissionsberechnung definieren, liegen in anderen Ländern getrennte Verfahren zur Berechnung der Emission je nach Quelle, jedoch ein gemeinsames Verfahren zur Ausbreitung vor. Die Ausbreitung wird dabei meist für den „erdgebundenen Verkehr“ (Straße, Schiene) einheitlich berechnet. Für Flugverkehrslärm wird in der Regel auf das ECAC Doc. 29 zurückgegriffen.

Auch in der neuen europäischen Rechenvorschrift CNOSSOS-EU werden die Emissions- und die Ausbreitungsberechnungen getrennt. Es findet eine einheitliche Ausbreitungsberechnung für Straßen- und Schienenverkehr statt.

Schutzziel	Tags bzw. L_{DEN} in dB(A)	Nachts bzw. L_{Night} in dB(A)
Rechtlicher Rahmen in Deutschland (Werte für allgemeine Wohngebiete)		
Auslösewerte Lärmsanierung	67	57
Grenzwert 16. BImSchV	59	49
Orientierungswert DIN 18005	55	45
Rechtsprechung in Deutschland		
Grundrechtliche Zumutbarkeitsschwelle derzeitige Rechtsprechung	70	60

Tab. 2: Auswahl möglicher Schutzziele

Verfahren	Land	Quelle	Jahr	Ausbreitung
ABSAW	Deutschland	Binnenschiffe	2003	Monofrequent
AzB 2008/ICAN	Deutschland	Flug	2008	Oktaven
BUB (Implementierung von CNOSSOS-EU)	Deutschland	Straße, Schiene, Gewerbe	2018	Oktaven
BUF	Deutschland	Flug	2018	Oktaven
CNOSSOS-EU	EU	Straße, Schiene, Gewerbe	2015	Oktaven
CRN	Großbritannien	Schiene	1995	Monofrequent
CRTN	Großbritannien	Straße	1988	Monofrequent
DIN 45684-1	Deutschland	Flug	2013	Oktaven
ECAC – Doc.29 3 rd edition	international EU Interim	Flug	2007	Oktaven
ECAC – Doc.29 4 rd edition	international EU Interim	Flug	2016	Oktaven
FHWA Traffic Noise Model (TNM)	USA	Straße	1998	Terzen
ISO 9613-2/DIN ISO 9613-2	international	Ausbreitung	1999	Oktaven
NF S31-133	Frankreich	Ausbreitungsberechnung	2011	Oktaven
NMPB-Fer	Frankreich	Schiene		Oktaven
NMPB08-Fer	Frankreich	Schiene	2008	Oktaven
NMPB-Routes-96	Frankreich, EU Interim	Straße	2001	Oktaven
NMPB-Routes-08	Frankreich	Straße	2008	Oktaven
Nord2000	Skandinavien	Ausbreitung (Punktquelle), Straße, Schiene, Gewerbe	2006	Terzen
ONR 305011	Österreich	Schiene	2009	Oktaven
RLS-90	Deutschland	Straße	1990	Monofrequent
RLS-20xx (bislang nicht veröffentlicht)	Deutschland	Straße	-	Monofrequent
RMR 96/SRM II	Niederlande, EU Interim	Schiene	1996	Oktaven
RMR 2012/SRM II	Niederlande, EU Interim	Schiene	2015	Oktaven
RMW 2002/SRM II	Niederlande	Straße	2002	Oktaven
RMW 2012/SRM II	Niederlande	Straße	2015	Oktaven
RVS 04.02.11	Österreich	Straße	2006	Monofrequent
Schall03 (Fassung von 1990)	Deutschland	Schiene	1990	Monofrequent
Schall03 (Fassung von 2014)	Deutschland	Schiene	2014	Oktaven
Semibel	Schweiz	Schiene	1990	Monofrequent
sonRAIL	Schweiz	Schiene	2010	Terzen
SonRoad	Schweiz	Straße	2004	Terzen
StL-86+	Schweiz	Straße	1987	Monofrequent
TemaNord 1996:524	Skandinavien	Schiene	1996	Oktaven
TemaNord 1996:525	Skandinavien	Straße	1996	Monofrequent
TraNECaM	Deutschland	Straße (nur Emission)	2000	Monofrequent
VBUF (abgelöst durch BUF)	Deutschland	Flug	2006	Oktaven
VBUS (abgelöst durch BUB)	Deutschland	Straße	2006	Monofrequent
VBUSCH (abgelöst durch BUB)	Deutschland	Schiene	2006	Monofrequent
XP S 31-133	Frankreich	Ausbreitungsberechnung für Verkehrsquellen	1997	Oktaven

Tab. 3: Regelwerke zur Berechnung von Immissionspegeln

Bei den Rechenverfahren zeigt sich zudem, dass viele internationale Verfahren nicht frequenzunabhängig, sondern in Terzen oder Oktaven rechnen. Eine Berechnung in Oktaven wird mit CNOSSOS-EU bzw. der deutschen Implementierung in der Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (BUB) [57] ebenfalls eingeführt.

Die Emissionsermittlung erfolgt in den meisten Berechnungsmodellen rein statistisch und geht nur von wenigen verkehrstechnischen Parametern aus. In den 1990er Jahren wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes das Modell TraNECaM [58] entwickelt, um eine detailliertere Emissionsberechnung als in den herkömmlichen Berechnungsmodellen RLS-90 bzw. VBUS/BUB zu ermöglichen und den technischen Fortschritt bei den Kraftfahrzeugen abzubilden.

Im Rahmen dieses Projektes werden in den folgenden Arbeitsschritten nur nationale bzw. europäisch einheitliche Berechnungsvorschriften zur Bewertung von verkehrsträgerübergreifenden Lärmkumulationen berücksichtigt. Grundsätzlich wurden die Berechnungen nach RLS-90 bzw. Schall03 durchgeführt, in Kapitel 6.4 ergänzt um Berechnungen nach BUB.

3.2.2 Kombination mehrerer Quellen

Bei Einwirken mehrerer Lärmquellen ist es notwendig, den gemeinsamen Einfluss dieser für eine Bewertung zu ermitteln. Einen Überblick gibt das UBA-Vorhaben zur Gesamtlärbewertung [9]. Maße wie ein Maximalpegel, eine Maximalpegelhäufigkeit oder andere, einzelereignisorientierte Maße sind hiernach nicht oder nur eingeschränkt geeignet, um diesen Gesamteinfluss zu ermitteln. Im Fokus des UBA-Modells zur Gesamtlärbewertung steht die wirkungsgerechte Gesamtlärbetrachtung.

Grundlage einer Betrachtung des Gesamtlärms kann eine Art der Addition sein. Hier stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, die entweder rein energetisch, mit Korrekturverfahren oder Dosis-Wirkungsbezogen vorgehen.

3.2.2.1 Energetische Addition

Das einfachste Verfahren, eine Gesamtlärmermittlung durchzuführen, besteht in der einfachen energetischen Addition der Beurteilungspegel der einzelnen Quellenarten. Aspekte der Belästigungswir-

kung werden bei der energetischen Addition nicht berücksichtigt.

Bei der energetischen Addition ist zu prüfen, ob die Berechnungsergebnisse lediglich frequenzunabhängig/mono-frequent vorliegen oder in Terzen oder Oktaven berechnet wurden. Je nach zugrundeliegenden Berechnungsergebnissen und Berechnungsverfahren kann eine Addition der Terzen oder Oktaven zu einer genaueren Bild der mittleren Gesamtlärmbelastung führen.

3.2.2.2 Energetische Addition mit Anpassungswerten

Zur Korrektur der Ergebnisse der energetischen Addition kamen und kommen verschiedene Anpassungswerte zum Einsatz. Diese können z. B. unterschiedliche Lästigkeiten verschiedener Lärmquellen berücksichtigen.

In Deutschland war der Schienenbonus (5 dB) bis zu seinem Entfallen 2015 für den Schienenverkehrslärm zu berücksichtigen. Dieser war jedoch auch unabhängig von einer Addition auf den Mittelungspegel des Schienenverkehrs anzuwenden.

In Österreich gibt es einen sogenannten Anpassungswert [59], der einen „Pegelzu- oder -abschlag für bestimmte Arten von Geräuschquellen“ angibt. Dieser beträgt -5 dB für den Schienenverkehr, gewerbliche Anlagen und Baulärm werden jeweils mit +5 dB berücksichtigt, jeweils bezogen auf Straßenverkehrslärm.

3.2.2.3 Addition von Schwellenwertüberschreitungen

Um das Problem der unterschiedlichen absoluten Pegel bei der energetischen Addition zu lösen, ist auch eine Addition von Schwellenwertüberschreitungen möglich. Eine Implementierung dieser Methode findet sich zum Beispiel in den Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS) der FGSV [60], die derzeit in Fortschreibung sind. Hier wird mit einem Zielpegel von 40 dB(A) nachts bzw. 50 dB(A) tags das sogenannte „Lautheitsgewicht“ ermittelt. Bewertet wird hierbei einzig die Überschreitung der Zielpegel.

3.2.2.4 Dominante Quelle

Eine Dominanz einer Quelle kann sowohl aus energetischer Sicht als auch aus Wirkungssicht vorlie-

gen. Aus energetischer Sicht kann davon ausgegangen werden, dass der Mittelungspegel einer Quelle den Gesamtmittelungspegel dominiert, wenn dieser um mindestens 5 bis 10 dB über den sonstigen Quellen liegt (siehe auch Kapitel 2.1.2). Aus Wirkungssicht gibt es Indikationen, dass die Lärmwirkung größtenteils durch die dominierende Quelle beschrieben werden kann. Die Mittelungspegel der wirkungsstärksten Quelle können dabei niedriger als die weiterer Quellen liegen [61]. Ein Beispiel wie die Dominanz einer Quelle zur Anwendung kommen kann, findet sich in Kapitel 2.2.2.

3.2.2.5 Wirkungsgerechte Addition nach VDI 3722-2

Um eine Lärmbelastigung bei Einwirken mehrerer Quellarten abzubilden, wurde von MIEDEMA ein Belästigungs-Äquivalenz-Modell entwickelt [62]. Hierbei werden die Mittelungspegel auf wirkungsäquivalente Pegel zum Straßenverkehr umgerechnet.

Die Wirkungsäquivalenz wird dabei dadurch ausgedrückt, dass der Prozentsatz der belästigten Personen übereinstimmt, hieraus wird ein renormierter Ersatzpegel ermittelt (siehe Beispiel in Bild 41). Die Ersatzpegel der unterschiedlichen Quellenarten werden dann energetisch zu einem effektbezogenen Substitutionspegel addiert, der von der Wir-

kung her wie Straßenverkehrslärm beurteilt werden kann.

Dieses Verfahren zur Bewertung der Gesamtbelastung wird auch im Anhang A der VDI 3722-2 (siehe auch Kapitel 3.1.2) als Hilfsmittel als sogenanntes „Substitutionsverfahren“ genutzt, bei dem die Wirkung jeweils in Bezug zu einer Vergleichsgröße (in diesem Fall dem Straßenverkehrslärm) ermittelt wird.

Eine Beurteilung der sich im Rahmen des Verfahrens ergebenden Ersatzpegel mit einer vom Verfahren abweichenden Bewertungsfunktion ($\%A/\%HA$) sollte nicht durchgeführt werden, da die durchgeführte Addition von der Vergleichbarkeit der zugrunde gelegten Belästigungsfunktionen für Straße, Schiene und Flug abhängig ist. Eine Nutzung des Substitutionspegels anstelle z. B. eines Mittelungspegels ist zudem auch nicht vorgesehen. In der VDI 3722-2 ist hierzu explizit als Anmerkung aufgeführt: „Der Substitutionspegel L_{AES} ist nur für die in dieser Richtlinie aufgeführten Zwecke zu verwenden.“

Durch die in Kapitel 3.1.2.2 dargestellten, von den in der VDI 3722-2 abweichenden Expositions-Wirkungsbeziehungen sind bei Anwendung des Substitutionsverfahrens deutlich abweichende Ergebnisse zu erwarten. Diese werden im Modell zur Gesamtlärmbewertung des UBA [9] aufgegriffen und es werden die notwendigen Änderungen an der VDI

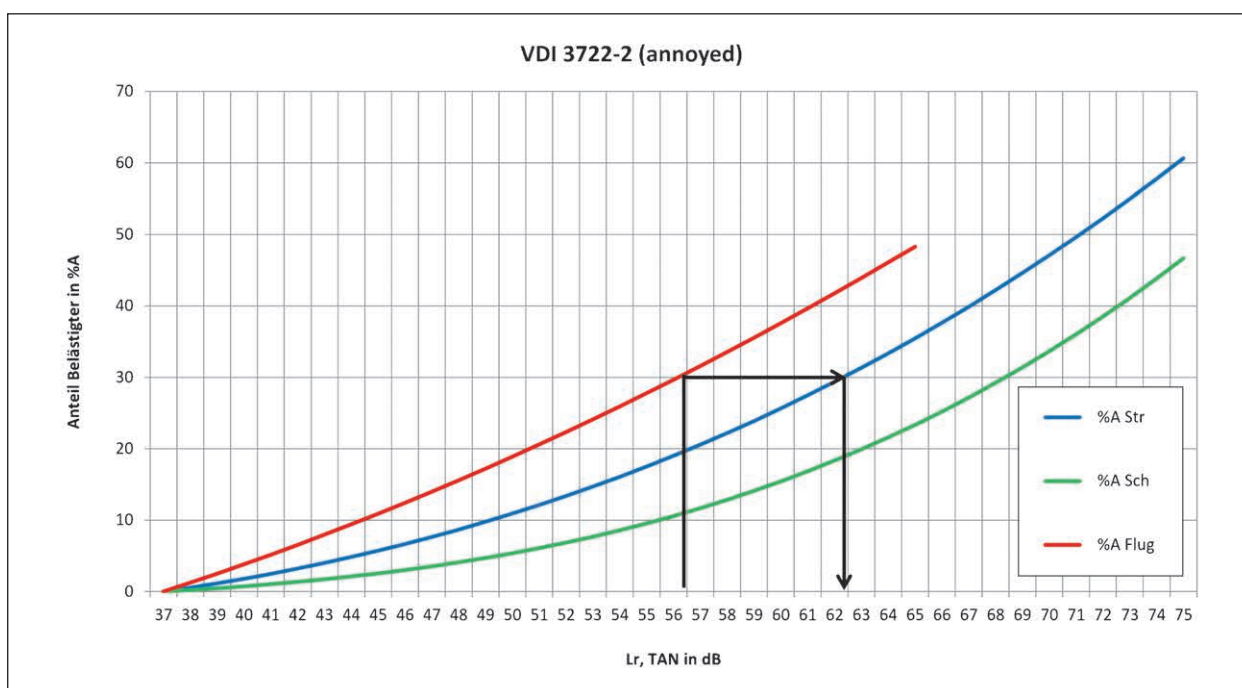


Bild 41: Bestimmung eines renormierten Ersatzpegels für Fluglärm bei 56 dB

3722-2 einschließlich der aktualisierten Funktionen dargestellt.

Durch die im WHO-Review bei gleichen Mittelungspegeln ermittelte höhere Belästigung durch Schienenverkehr gegenüber dem Straßenverkehr fällt die Belästigung in Bereichen mit Schienenverkehrslärm deutlich höher aus als nach Bewertung gemäß VDI 3722-2. In dieser wird, basierend auf früheren Untersuchungen, der Schienenverkehrslärm bei gleichen Pegeln als weniger belastend ermittelt als der Straßenverkehrslärm. Die Differenz zwischen den beiden Funktionen beträgt in etwa 10 dB.

Auch der Fluglärm nimmt in der Belästigungswirkung deutlich zu und zeigt weiterhin deutlich höhere Belästigungsreaktionen bei gleichen Mittelungspegeln. Die Differenz der Funktionen (VDI zu WHO) beträgt ebenfalls etwa 10 bis 15 dB. Im Substitutionsverfahren wäre der Flugverkehr somit bereits bei deutlich geringeren Pegeln alleinig dominierend.

3.2.2.6 Literatur zum Vergleich verschiedener Additionsverfahren

Für die Stadt Düsseldorf liegt eine Untersuchung zu einer Gesamtlärbetrachtung des Landesamts für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW) vor. In der „Betrachtung des Gesamtlärms – eine Hilfe für eine effektive Lärmaktionsplanung?“ [63] wird ein Vergleich zwischen VDI 3722-2 sowie energetischer Addition durchgeführt. Die mit den beiden Additionsverfahren ermittelten Hot-Spots wurden mit den Berechnungen aus den einzelnen Quellenarten verglichen. Ergänzend wurde eine Befragung der Einwohnenden durchgeführt, um die Wahrnehmung von Lärm beim Zusammenwirken verschiedener Verkehrslärmquellen zu ermitteln.

Im Ergebnis zeigt die Untersuchung, dass sich nur unwesentliche Unterschiede zwischen der Addition nach VDI 3722-2 sowie der energetischen Addition ergeben. Beide Verfahren liefern „nur unwesentliche zusätzliche Erkenntnisse zur Ermittlung von Lärmschwerpunkten“. Im Rahmen der Lärmaktionsplanung wird laut der Untersuchung auch aufgrund des hohen Aufwandes ein Einsatz der VDI 3722-2 nicht als gerechtfertigt angesehen. Sofern die Ermittlung nach VDI 3722-2 bereits im Rahmen der Berechnung vorgesehen wird, ist der tatsächliche Aufwand durch die in den meisten Rechenprogrammen implementierten Methoden der VDI aber gering.

In einem Pilotprojekt zur Gesamtlärbetrachtung Innsbruck [64] wurden umfangreiche Erhebungen zur Lärmbelastung durchgeführt. Grundlage hierfür ist auch eine Gesamtlärbetrachtung, bei der die VDI 3722-2 mit dem Substitutionsverfahren für die Quellen Straßen-, Schienen- und Flugverkehr zum Einsatz kommt. Laut der Studie ging dem Pilotprojekt eine umfangreiche Literaturrecherche voraus, bei der insbesondere die kombinierten Effekte unterschiedlicher Schallquellen fokussiert wurden.

Als Ergebnis werden einerseits die „wirkungs- und effektbezogenen Rasterlärnkarten“ für die einzelnen Quellen anhand des jeweiligen Substitutionspegels der VDI 3722-2 dargestellt, zum anderen auch die Gesamtlärmbelastung, die sich aus deren energetischer Addition ergibt. Neben den Rasterberechnungen erfolgten auch Berechnungen an den Gebäudefassaden und eine Berechnung der Belästigung nach Expositions-Wirkungs-Beziehungen, um damit Hot-Spot-Analysen durchzuführen und Maßnahmen zu priorisieren.

3.2.3 Vergleichende Betrachtungen

Aus den vorgestellten Verfahren zur Lärmberechnung und Addition werden ausgewählte Verfahren exemplarisch vorgestellt, um wesentliche Unterschiede in den Methoden herauszuarbeiten. Die hier dargestellten Ergebnisse sind eine Auswahl aus umfangreicheren Berechnungen, die im Rahmen des Projektes durchgeführt wurden. Für die Additionsverfahren wurden die energetische Addition sowie die wirkungsgerechte Addition, hier nach VDI 3722-2, ausgewählt.

3.2.3.1 Testgebiet und Emissionsquellen

In den Vergleichen sollen vorrangig die Unterschiede der einzelnen zuvor betrachteten Aspekte (Ausbreitung mono-frequent oder spektral, Addition energetisch oder wirkungsbezogen) untersucht werden.

Die RLS-90 und BUB unterscheiden sich jedoch nicht nur in der Berücksichtigung von akustischen Spektren bei der Ausbreitung (mono-frequent zu Oktaven), sondern auch in der Ausbreitungsberechnung selbst. Zudem gibt es Unterschiede bei der Ermittlung der Emissionen sowie auch bei den zugrundeliegenden Eingangsdaten. Bei einem direkten Vergleich wären Abweichungen zwischen den Immissionen somit nur schwer einzelnen Parametern zuzuschreiben.

tern zuzuschreiben. Gleiches gilt für Unterschiede in den Berechnungen für Schienenverkehrslärm.

Um Effekte durch unterschiedliche Ansätze zur Ausbreitung und zur Emission zu vernachlässigen, wurden die Berechnungen nach der DIN ISO 9613-2:1999-10 [65] durchgeführt. Bei einem Vergleich anhand verschiedener Berechnungsmethoden wären neben den zu betrachtenden Aspekten weitere Parameter in die Ergebnisse eingeflossen, die durch die jeweilige Regelungsgrundlage bedingt sind. Die Ergebnisse zur Ausbreitung werden daher allein den grundlegenden Unterschied zwischen spektraler und monofrequenter Ausbreitung aufzeigen.

Die jeweiligen Schallquellen (Straße und Schiene) sind als Linienquellen modelliert. Dabei wurde in zwei unterschiedlichen Modellen einmal der A-bewertete Summenpegel als Emission angesetzt (Ausbreitung mono-frequent) und einmal in Okta-ven gerechnet (Ausbreitung spektral).

Für den Straßenverkehr wurden die Emissionen nach RLS-90 [66] modelliert. Für die spektrale Ausbreitungsberechnung wurden Emissionsspektren angewandt, die einer Untersuchung der BASt [67] entstammen.

Grundlage für die Berechnungen des Schienenverkehrslärms ist die Schall03 [7]. Die Emissionen wurden entsprechend dieser in drei Höhenlagen, 0 m, 4 m sowie 5 m, modelliert. Die Emissionsspektren einzelner Züge für die spektrale Ausbreitungsberechnung wurden ebenfalls der Schall03 entnommen. Abweichend von der Schall03 wurde zur Vergleichbarkeit mit dem Straßenverkehr in den Berechnungen auch für den Schienenverkehr nur mit Reflexionen 1. Ordnung gerechnet.

Für den Vergleich wurde ein Testgebiet erstellt, das größtenteils symmetrisch angelegt ist. Die Gebietsgröße beträgt etwa 850 m mal 850 m. An jeweils gegenüberliegenden Seiten des quadratischen Modellgebietes sind eine leise und eine lautere Lärmquelle, Straße bzw. Schiene, angeordnet. Ergänzt werden die Lärmquellen durch ein Nebenstraßennetz mit geringen Geräuschemissionen. Im Testgebiet sind zudem Gebäude mit unterschiedlichen Höhen sowie ein Wall (links) bzw. eine Wand (rechts) als Lärmschutz vorhanden, ansonsten ist das Gelände als eben modelliert (siehe Lageplan in Bild 42).

Der Boden wurde für das gesamte Rechengebiet als schallhart bzw. reflektierend ($G = 0$) berücksich-

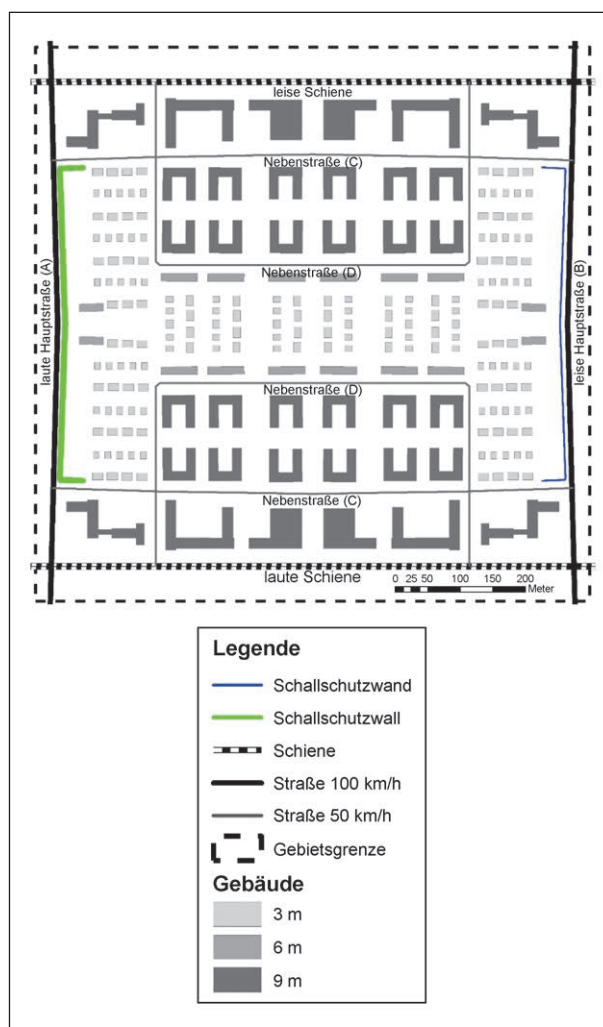


Bild 42: Lageplan des Testgebietes für den Vergleich der Lärm-berechnungs- und -bewertungsverfahren

tigt. Dies entspricht somit z. B. Oberflächen mit Pflasterungen, Beton und sonstigen verdichteten Oberflächen. Bei einer Bodendämpfung würden die Pegel sich über die Entfernung stärker vermindern, im Nahbereich der Quellen sind jedoch nur geringere Abweichungen zu erwarten.

3.2.3.2 Ausbreitung Spektral/Mono-frequent

Sowohl für den Straßen- als auch für den Schienenverkehr wurden exemplarisch vergleichende Berechnungen durchgeführt, die den prinzipiellen Unterschied in den Beurteilungspegeln zwischen einer mono-frequenten Ausbreitungsberechnung und einer spektralen Ausbreitungsberechnung aufzeigen. Der Umgang der Berechnungsvorschriften mit der Bodendämpfung unterscheidet sich. Die RLS-90 berücksichtigen z. B. die Art des Bodens, schallhart/schallweich, auf dem Ausbreitungsweg nicht gesondert. In den folgenden Berechnungen wird

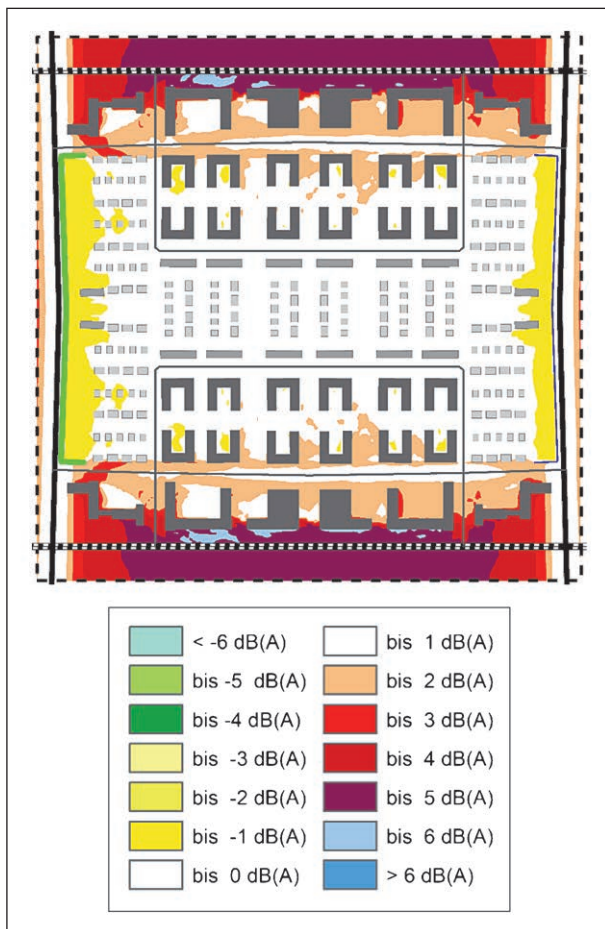


Bild 43: Differenz Straße, Ausbreitung spektral zu mono-frequent – tags (spektral – mono-frequent)

(unabhängig von evtl. anzuwendenden Berechnungsvorschriften für Straßenverkehrslärm) exemplarisch immer der Fall schallharter Böden ($G=0$) untersucht. Die Ergebnisse sind daher nicht auf alle Ausbreitungsfälle (und die anzusetzenden Bedingungen aller Berechnungsvorschriften) zu übertragen. Die Vergleichbarkeit der Rechenergebnisse für die gewählten Rahmenbedingungen ist jedoch gegeben.

Die Berechnungsergebnisse für den Straßenverkehr im Testgebiet zeigen im Vergleich (Bild 43), dass die spektrale Berechnung in Bereichen ohne Abschirmung (bei harten Böden) ab ca. 100 m Entfernung zur Quelle zu rund 5 dB höheren Immissionspegeln als die mono-frequente Berechnung führt. Im Bereich von quellennahen Abschirmungen (Wand/Wall) liegen die Ergebnisse im Nahbereich bis ca. 100 m Entfernung zur Quelle großflächig um bis zu 1 dB unter den Beurteilungspegeln bei mono-frequenter Ausbreitung. Weitere Effekte sind eher lokal zu beobachten und stark abhängig von der Hindernisstruktur.

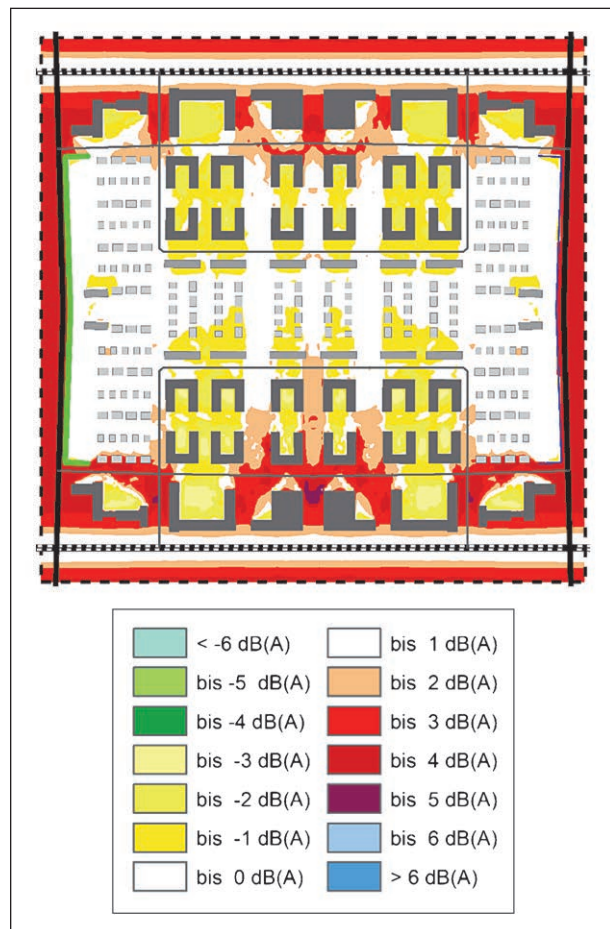


Bild 44: Differenz Schiene, Ausbreitung spektral zu mono-frequent – tags (spektral – mono-frequent)

Die Berechnungsergebnisse für den Schienenverkehr im Testgebiet zeigen in der Differenz (Bild 44), dass die spektrale Berechnung in Bereichen ohne Abschirmung (bei harten Böden) ab ca. 100 m Entfernung zur Quelle zu bis zu rund 4 dB höheren Immissionspegeln als bei der mono-frequenten führt. Im abgeschirmten Bereich (Gebäude) liegen die spektral ermittelten Ergebnisse im Nahbereich bis ca. 100 m Entfernung zur Quelle um bis zu 3 dB unter denen der mono-frequenten Berechnung.

3.2.3.3 Addition energetisch/wirkungsbezogen

Zum Vergleich zweier wesentlicher Ansätze der Addition des Lärms unterschiedlicher Quellen wurden von den in Kapitel 3.2.2 genannten die energetische Addition (ohne Anpassungswerte) sowie die wirkungsbezogene Addition nach VDI 3722-2 herangezogen. Auch wenn die VDI 3722-2 expliziert aufführt, dass „Der Substitutionspegel L_{AES} [...] nur für die in dieser Richtlinie aufgeführten Zwecke zu verwenden“ ist, soll die Darstellung des Pegels der Verdeutlichung des Einflusses der einzelnen

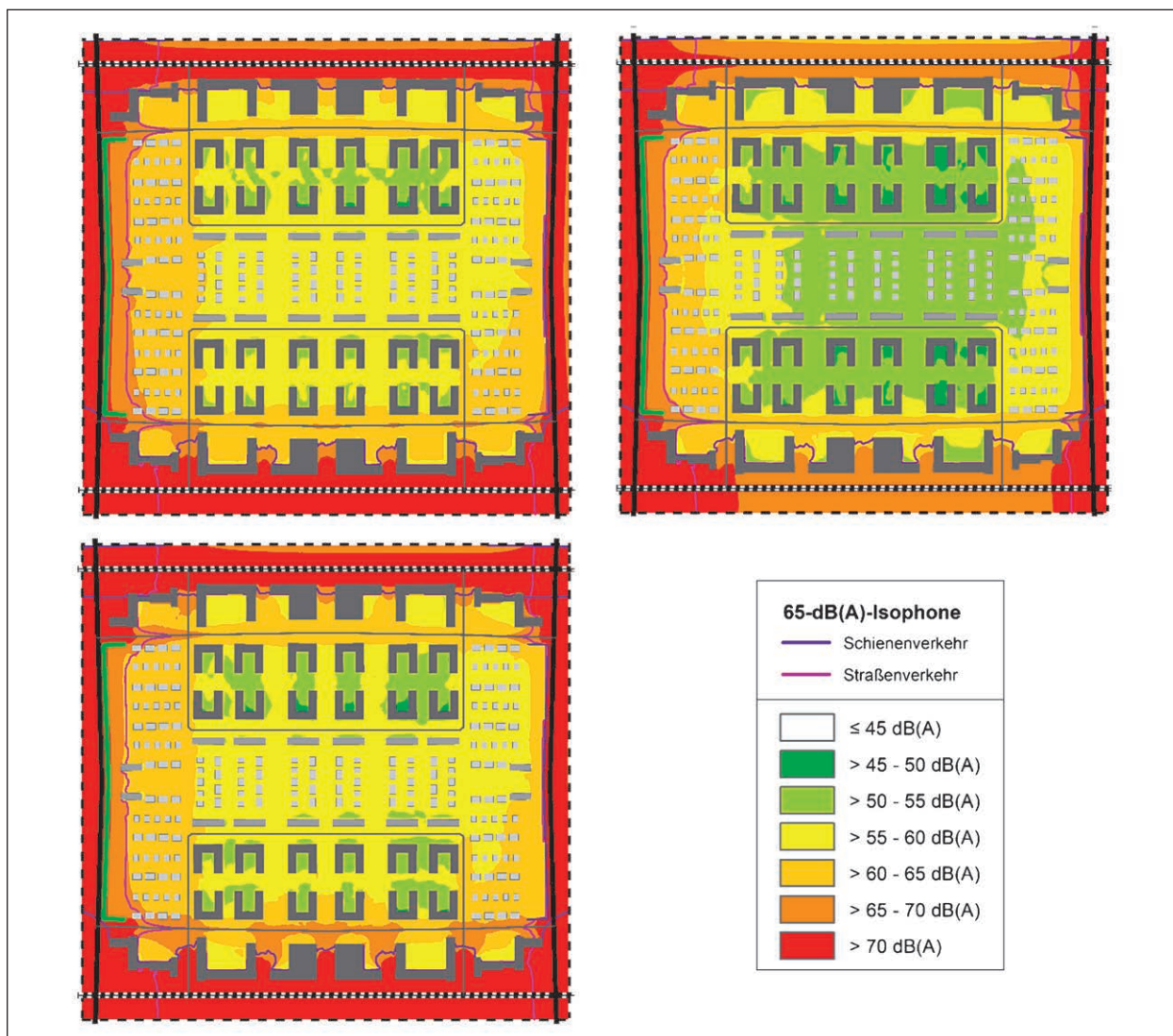


Bild 45: Straße + Schiene (oben links: Addition der Berechnung mono-frequent, unten: Addition der Berechnung mit spektraler Ausbreitung, oben rechts: renormierter Ersatzpegel Straße + Schiene (%HA) sowie 65-dB(A)-Isophone der Einzelquellen (beides mit Ausbreitung mono-frequent)

Quellen auf die daraus abzuleitende Belästigung dienen.

Der Vergleich zwischen energetischer Addition der mono-frequenten Berechnungsergebnisse sowie der spektralen Addition der spektralen Berechnungsergebnisse (Bild 45) zeigt in genau den Bereichen Abweichungen, in denen bereits beim Vergleich der jeweiligen Berechnungen der einzelnen Quellen Abweichungen festgestellt wurden (Bild 43 und 44). Die Untersuchungen zeigten auch, dass sich keine signifikanten Unterschiede durch die Reihenfolge von spektraler Addition und Summenbildung ergeben.

Bei Darstellung des renormierten Ersatzpegels, der z. B. über die stark Belästigten (%HA) berechnet werden kann, zeigt sich der sichtbare geringere

Einfluss der Schienenverkehrswege (Bild 45). Im Einflussbereich der Schiene liegen die mit diesem Verfahren ermittelten Ersatzpegel trotz des gemeinsamen Einflusses der zwei Quellen geringfügig unter den Beurteilungspegeln des Schienenverkehrs allein.

Im Nahbereich zu den Straßen weichen die Pegel nicht relevant vom Straßenverkehrspegel ab. Dies ist dadurch bedingt, dass der Straßenlärmpegel bei der Bewertung die Referenz darstellt, auf die alle anderen Lärmquellen umgerechnet werden. Da der Einfluss der Schiene in direkter Nähe zur Straße zu vernachlässigen ist und mit der angewandten Bewertung weiter abnimmt, ändern sich die Pegel nicht. Dies zeigt sich anhand der in Bild 45 gekennzeichneten Isophonen für die Einzelquellen, für die ein Beurteilungspegel von 65 dB(A) erreicht wird.

Nach Anpassung der VDI 3722-2 an die aktuellen Wirkungskurven (siehe Kapitel 3.1.2.2) wären die Ergebnisse von den hier vorgestellten Ergebnissen

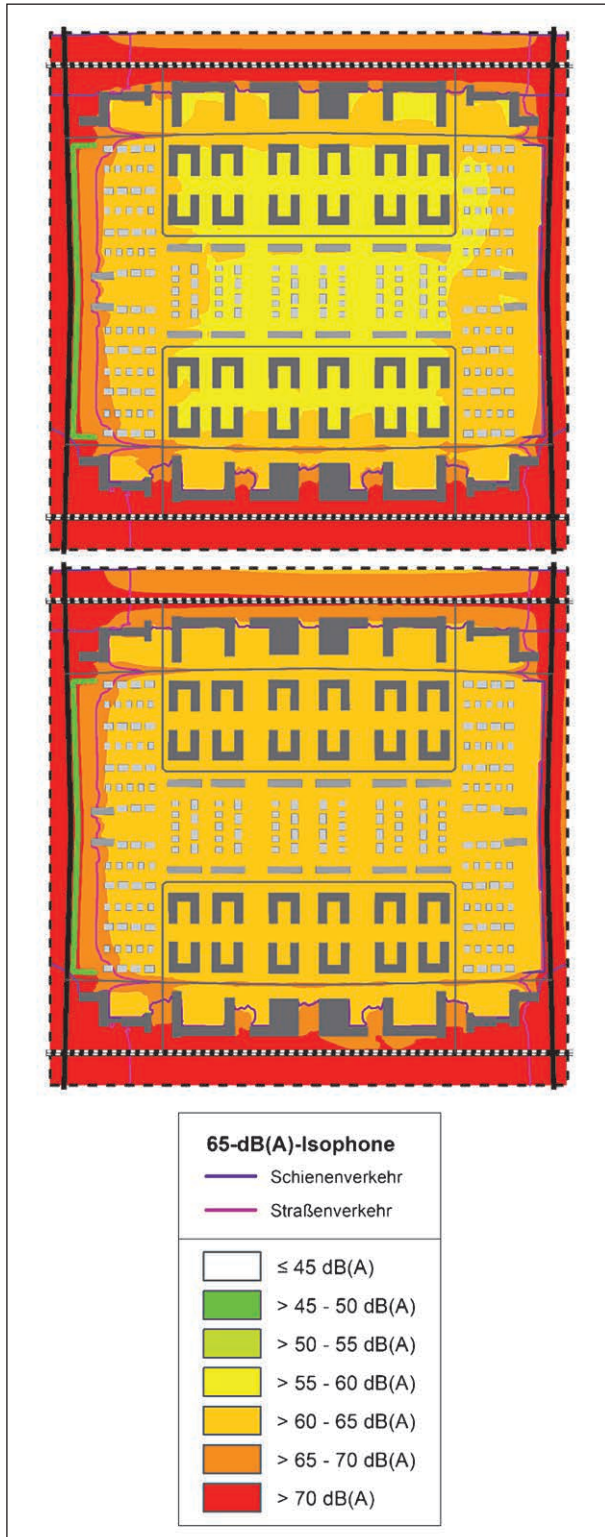


Bild 46: Straße + Schiene + Flug (oben: Addition der Berechnung mono-frequent, unten: renormierter Ersatzpegel Straße + Schiene + Flugverkehr (%HA) sowie 65-dB(A)-Isophone der Einzelquellen (Flug in beiden Fällen konstant mit 55 dB(A))

nach bisherigen Funktionen der VDI stark abweichend. Der Schienenverkehrslärm wäre durch die höhere Belästigungsreaktion gegenüber dem Straßenverkehr im Ergebnis lauter und durch den höheren Einfluss des Schienenverkehrslärms wäre ggf. auch im Nahbereich der Straßen eine Änderung in den ermittelten Pegeln festzustellen.

Bei Anwendung des Substitutionsverfahrens für Straßen- und Flugverkehrslärm ergeben sich durch die höhere Belästigungswirkung des Flugverkehrs bei gleichen Pegeln abweichende Ergebnisse. Insbesondere bei der Anwendung des renormierten Ersatzpegels für Schienen- und Flugverkehr zeigt sich die Wirkung des Substitutionsverfahrens. Der Pegelunterschied der beiden Lärmquellen bei gleicher Belästigung liegt bei den derzeitigen Formeln der VDI 3722-2 bei etwa 10 dB (siehe Bild 41).

In der Addition von Straßen-, Schienen- und Flugverkehrslärm zeigt sich deutlich, wie sich auch bei vergleichsweise geringen Pegeln einer einzelnen Quelle (z. B. 55 dB(A)) beim Einwirken mehrerer Quellen deutlich höhere Pegel im gesamten Plangebiet ergeben (siehe Bild 46). Die Unterschiede zwischen energetischer Addition (oben) und Substitutionsverfahren (unten) fallen dabei bezogen auf die Auswirkungen auf die 65-dB(A)-Isophone nur gering aus. Abweichungen ergeben sich vor allem in den niedrigeren Pegelbereichen (< 60 dB(A)) (Pegelzunahme durch Dominanz des Flugverkehrs) sowie in den höheren Pegelbereichen (> 70 dB(A)) (geringere Pegel durch geringere Belästigung des Schienenverkehrs).

Bei Darstellung des renormierten Ersatzpegels über die stark Belästigten (%HA) im Vergleich zur Darstellung über die Belästigten (%A) zeigen sich kaum relevante Unterschiede.

3.2.4 Einschätzung zu Aufwand und Nutzen

Ungeachtet vom juristischen Kontext und dem jeweiligen Anwendungsgebiet erfolgt für verschiedene identifizierte Methoden zur Lärmberechnung und Kombination eine Einschätzung zum Aufwand der jeweiligen Erhebung. Hierzu gehören neben den Rechenzeiten, die sich durch detailliertere Verfahren ergeben können, auch Anforderungen an die Modellerstellung, die Erhebung der Eingangsdaten, die Verarbeitung von Ergebnisdaten und die Auswertung. Der Aufwand wird stets relativ im Vergleich zu einer Referenz angegeben.

Zum Nutzen einer Methode wird in Tabelle 4 vergleichend dargestellt, welche möglichen Aspekte hierbei explizit berücksichtigt wurden oder welche keinen Eingang finden. Eine Wertung findet nicht statt und auch hier wird mit der Referenz verglichen.

Bei der Lärmberechnung gibt es für die Straße (mit den RLS-90) und den Schienenverkehr (mit der Schall03) jeweils eine Referenz bei der Lärmberechnung, die in der Regel mit Ausnahme von der Lärmkartierung und Lärmaktionsplanung eingesetzt wird.

Bei der Berechnung nach CNOSSOS-EU bzw. BUB sind u. a. aufgrund der spektralen Ausbreitung gegenüber den RLS-90 höhere Rechenzeiten zu erwarten. Neben dem Rechenaufwand sind im Vergleich zu den RLS-90 zudem höhere Anforderungen an die Eingangsdaten zu vermerken. Die Verkehrsmengen umfassen z. B. neue Klassen oder es kann z. B. die tatsächlich gefahrene mittlere Geschwindigkeit berücksichtigt werden. Nicht alle Angaben sind dabei verpflichtend zu nutzen.

Aufbauend auf den RLS-90 wurden in der Vergangenheit bereits maßnahmensensitive Modelle wie TraNECaM angewandt. Über diese Modelle kann die Wirkung einer Vielzahl von Maßnahmen auch zum Verkehrsfluss etc. ermittelt werden. Der Aufwand zur Emissionsermittlung ist jedoch sehr hoch, da u. a. das Verfahren nicht in den Berechnungsprogrammen implementiert ist.

Für die Lärmkombination stellt die energetische Addition (spektral oder mono-frequent) die Referenz dar, die (vor allem mono-frequent) mit geringem Aufwand umsetzbar ist. Die energetische Addition mit Anpassungswerten ist gegenüber dieser im Aufwand nur geringfügig höher, kann aber eine erste

Berücksichtigung weiterer Parameter wie Lästigkeit o. Ä. bieten.

Bei der Addition von Schwellenwertüberschreitungen muss unterschieden werden zwischen Methoden, die einen konstanten Schwellenwert nutzen, und jenen, die nutzungsabhängige Schwellenwerte haben (etwa unterschieden nach Wohngebieten und Mischgebieten). Für letzteren Fall erhöht sich der Aufwand, die Schutzbedürftigkeit für jedes Gebäude zu ermitteln.

Zudem hängt der Aufwand bei der Addition von Schwellenwertüberschreitungen sehr stark davon ab, ob und wie die Schwellenwertüberschreitung gewichtet wird. Hierzu sind z. B. die in Kapitel 3.3.1.2 genannten Methoden zur Ermittlung der Wirkung anwendbar. Wenn eine Bewertungsfunktion angewandt wird, fallen für die Auswertung weitere Schritte an, die nicht in jedem Fall in einer Lärmberechnungssoftware durchgeführt werden können. Einige Methoden (wie z. B. die LKZ, siehe Kapitel 3.3.1.2) bieten bei der Auswertung und Maßnahmenplanung jedoch zumindest die Möglichkeit, überschlägige Berechnungen ohne Rechenhilfen durchzuführen.

Die Methoden zur Dominanz von Quellen bedingen in der Regel eine komplexere Auswertung, die nicht in allen Fällen in einer Lärmberechnungssoftware umsetzbar ist. Die Auswertung bietet sich nach den Erfahrungen aus Kapitel 2.2.2 vor allem für grafische Auswertungen in einem Lärmraster an, um allgemein den maßgeblichen Einwirkungsbereich der einzelnen Quellen zu ermitteln.

Die wirkungsgerechte Addition, die z. B. nach dem in Kapitel 3.2.2.5 vorgestellten Verfahren der VDI

	Methode	Aufwand	Nutzen
	RLS-90 (Referenz)	(Referenz)	
	CNOSSOS-EU/ BUB	höherer Rechenaufwand, höhere Anforderungen an Eingangsdaten, als komplexes Verfahren schwer nachvollziehbar	neuere Datengrundlage, einheitliche Ausbreitungsberechnung, europäisch weitgehend einheitlich
	Maßnahmensensitive Modelle (hier Beispiel TraNECaM)	sehr hoher Aufwand bei der Emissionsermittlung, als komplexes Verfahren schwer nachvollziehbar	Wirkung von u. a. Verkehrsfluss etc. abbildbar
	Schall03 (Referenz)	(Referenz)	
	CNOSSOS-EU/ BUB	etwas höherer Rechenaufwand, als komplexes Verfahren schwer nachvollziehbar	einheitliche Ausbreitungsberechnung, europäisch weitgehend einheitlich

Tab. 4: Vergleich der Lärmberechnungsmethoden in Aufwand und Nutzen

Methode	Aufwand ¹	Nutzen
Energetische Addition (Referenz)	sehr gering (Referenz)	
Energetische Addition mit Anpassungswerten	gering	allgemeine Berücksichtigung von z. B. Lärmwirkung
Addition von Schwellenwertüberschreitungen (konstanter Schwellenwert, ohne Bewertungsfunktion)	gering	einfache Berücksichtigung eines Schwellenwertes
Addition von Schwellenwertüberschreitungen (Schwellenwert abhängig von Nutzungsgebieten, ohne Bewertungsfunktion)	mittel bis hoch	Berücksichtigung des Schutzanspruches
Addition von Schwellenwertüberschreitungen (mit Bewertungsfunktion)	mittel bis hoch	Gewichtung der Schwellenwertüberschreitung
Dominante Quelle	mittel	Identifikation eines Einflussbereichs, gut für grafische Auswertung (Raster)
Wirkungsgerechte Addition (hier Beispiel VDI 3722-2)	gering bis sehr hoch	detaillierte Berücksichtigung von Lärmwirkungsaspekten

¹ Mit Ausnahme der energetischen Addition: Ausgehend davon, dass die Methoden jeweils nicht in der Ausbreitungssoftware implementiert sind. Auch wenn die Daten nur als Berechnungs(roh)ergebnisse vorliegen und die Auswertung nicht über die Berechnungssoftware erfolgen kann, ist der höhere Aufwand anzusetzen.

Tab. 5: Vergleich der Kombinationsmethoden in Aufwand und Nutzen

3722-2 geschehen kann, bedingt einen hohen Aufwand bei der Auswertung. Da die Methode der VDI 3722-2 jedoch bereits seit längerem veröffentlicht sind und einen anerkannten Standard darstellen, ist diese in den meisten Lärmberechnungsprogrammen implementiert. Sofern eine Auswertung direkt nach der Berechnung erfolgen kann, kann der Aufwand somit vertretbar sein.

Insgesamt kann die wirkungsgerechte Addition gegenüber den übrigen Methoden die Lärmwirkung und Kombinationseffekte potenziell sehr gut abbilden. Gleichzeitig kann bei der wirkungsgerechten Addition jedoch jeweils nur ein Parameter, die gewählte Form der Belästigung⁹, berücksichtigt werden. Prinzipiell ließen sich durch eine Funktion, die sich auf mehrere Parameter bezieht, mehrere Aspekte abbilden.

3.2.5 Fazit und Empfehlungen

Bei den Additionsverfahren zeigen sich relevante Unterschiede zwischen der wirkungsgerechten Addition sowie der rein energetischen Addition. Je nach Bewertung einer Lärmquelle als mehr oder weniger belästigend wird ihr Einfluss erhöht oder

vermindert. Die VDI 3722-2 bietet mit dem renormierten Ersatzpegel ein Verfahren zur Ermittlung eines effektgleichen Pegels bezogen auf die Belästigung.

Bei einer Überarbeitung der VDI 3722-2 hinsichtlich der Expositions-Wirkungsbeziehungen (siehe Kapitel 3.1.2.2 bzw. Bild 40) wären deutlich von den bisherigen Bewertungen unterscheidende Ergebnisse zu erwarten. Besonders würde sich die Bedeutung des Schienenverkehrs ändern, der bislang als weniger belästigend als der Straßenverkehr eingeschätzt wird, mit den geänderten Beziehungen jedoch eine höhere Belästigung aufweisen soll.

Insgesamt zeigt sich, dass die Wahl des Additionsverfahrens einen Einfluss auf die Feststellung einer relevanten Lärmbelastung bei Vorliegen einer Lärmkumulation haben kann.

Da die VDI 3722-2 als technisches Regelwerk jedoch lediglich Empfehlungscharakter besitzt, ist eine Anwendung nach Rechtsgutachten zum UBA-Vorhaben [9] nur dort möglich, wo rechtlich bereits heute eine Gesamtlärmbewertung zugelassen oder verlangt wird. Laut VDI 3722-2 ist der Einsatz des Ersatzpegels zudem auf die weitere Ableitung der Belästigung beschränkt. Die Nutzung des ermittelten Pegels für andere Zwecke wird somit nicht vom Anwendungsbereich der Richtlinie abgedeckt. Auch hierzu führt das UBA-Vorhaben an, dass der Substitutionspegel nicht z. B. an der

⁹ In der VDI 3722-2: Belästigt (%A), Hoch Belästigt (%HA), Schlafgestört (%SD), Hoch Schlafgestört (%HSD)

grundrechtlichen Zumutbarkeitsschwelle (siehe auch Kapitel 3.1.3.4) gemessen werden kann, da er sich ausschließlich an der Belästigung, nicht aber an der Wirkung auf die Gesundheit orientiert (zitiert wird hierzu auch ein Urteil des VGH Baden-Württemberg¹⁰).

Anwendung kann die VDI 3722-2 jedoch dort finden, wo keine strikte Anwendung rechtlicher Grundlagen wie Grenz- oder Richtwerten erfolgt. So ist als ein Anwendungsbereich der VDI 3722-2 zum Beispiel die Maßnahmenprüfung im Rahmen der Lärmaktionsplanung oder der Vergleich mehrerer Planungsvarianten zu erkennen. Dies wird in Kapitel 6 „Untersuchung der Wirkung von Minderungsmaßnahmen/Planungsalternativen“ der VDI-Richtlinie ausgeführt. Die Wirkung von Maßnahmen kann anhand der VDI damit auch in Bezug auf die Belästigung ermittelt werden.

Aufgrund der derzeitigen Schwierigkeiten bei der Anwendung der VDI 3722-2 vor allem aus rechtlicher Sicht, wurde für die weiteren Projektschritte vorwiegend eine energetische Addition betrachtet. Alle weiteren Ergebnisse berücksichtigen jedoch eine Öffnung hinsichtlich abweichender Methoden (wie der VDI 3722-2) und sind grundsätzlich unabhängig von einer notwendigen Addition.

Auch die Wahl der Ausbreitungsmethode, spektral oder mono-frequent, hat einen maßgeblichen Einfluss in den relevanten Pegelbereichen. Der Einfluss der spektralen Ausbreitung hängt dabei sehr deutlich von der Beschaffenheit des Untergrunds (schallhart oder schallweich) sowie möglichen Abschirmungen ab. Während im Nahbereich der Untergrund noch einen geringen Einfluss aufweist, können bei größeren Entfernungen (in den Modellberechnungen bereits ab 100 m) deutliche Unterschiede zwischen den beiden Berechnungsansätzen festgestellt werden. Im Bereich von Abschirmungen wurde in den Modellberechnungen festgestellt, dass die monofrequente Berechnung die Pegelminderung eher unterschätzt, auch abhängig davon, ob es sich um Straßen- oder Schienenverkehrslärm handelt. Die spektralen Berechnungen bieten die Möglichkeit, den Effekte der Bodendämpfung und von Abschirmungen genauer zu berücksichtigen als eine mono-frequente Berechnung.

Dem Ergebnis gegenüber steht ein höherer Aufwand. Dieser schlägt sich in der Regel wesentlich in den Rechenzeiten nieder. Der Aufwand zur Modellbildung hängt davon ab, ob die Bodendämpfung für ein Rechengebiet pauschal berücksichtigt wird oder eine detaillierte Modellierung erfolgt.

Da die Berechnungsmethoden die Wahl der Ausbreitung vorgeben, ist man bei der Anwendung hier auf die Wahl der Berechnungsmethode beschränkt. In der Regel ist jedoch auch diese in den jeweiligen Verfahren vorgegeben (Neu- und Ausbau: 16. BImSchV) bzw. sind bestimmte Methoden etablierter Standard. Einzig in der Lärmaktionsplanung ist nach LAI-Hinweisen zur Lärmaktionsplanung [68] eine Öffnung gegenüber abweichenden Methoden zur Lärmberechnung genannt, um nicht mit den Methoden der Umgebungslärmrichtlinie zu prüfende Maßnahmen in der Abwägung zu berücksichtigen. Hiermit sollen im Rahmen einer Abwägung auch Maßnahmen beurteilt werden können, die sich nicht nur auf den Langzeit-Mittelungspegel auswirken, sondern z. B. auch eine Reduzierung der Belästigung bewirken.

3.3 Bewertung von Nutzen und Kosten sowie Kostenverteilungen

Zur Bewertung einer Lärmsituation sowie zur Bewertung verschiedener Lärminderungsmaßnahmen ist eine quantitative Methode notwendig, die eine Priorisierung von Maßnahmen ermöglicht. Im Fokus können dabei sowohl die Effektivität als auch die Effizienz stehen.

Die Effektivität beschreibt dabei das Maß der Wirksamkeit, inwiefern ein gewähltes Ziel erreicht wird. Die höchste Effektivität wird erreicht, wenn keine Konflikte bezogen auf das gewählte Ziel mehr bestehen. Die Effizienz hingegen beschreibt die Wirtschaftlichkeit, mit der ein Ziel erreicht wird, also das Verhältnis von (Kosten-)Einsatz und Wirkung (Nutzen).

Eine Zieldefinition kann sich dabei sowohl direkt aus empirisch ermittelten Größen (wie etwa der Lärmwirkung) als auch aus sozialen und gesetzlichen Konventionen (Orientierungs-, Richt- und Grenzwerte) ableiten (siehe Kapitel 3.1.3).

Für die Ermittlung der Wirkung existieren verschiedene Methoden, die unterschiedliche Aspekte (anhand eines Ansatzes für die Lästigkeit, Immobilien-

¹⁰ VGH Baden-Württemberg, Urteil vom 08.10.2012, 5 S. 203/11

wertverluste, Gesundheitsaspekte) oder einfach nur ein Maß der Schutzzielüberschreitung berücksichtigen (Kapitel 3.3.1.2).

Die Kostenermittlung umfasst zum einen die Erstellungskosten, zum anderen auch die Betriebs- und Folgekosten sowie auch volkswirtschaftliche Kosten (Kapitel 3.3.1.1). Im Rahmen des Projektes zur Lärmkumulation sollen im Wesentlichen die direkten Kosten der Herstellung bzw. der regelmäßigen Erneuerung betrachtet werden (Kapitel 3.3.1.3).

Zur Ermittlung eines Nutzen-Kosten-Verhältnisses existieren unterschiedliche Herangehensweisen, die zum Teil auch auf unterschiedliche Definitionen von Nutzen und Kosten zurückgreifen (Kapitel 3.3.2).

Hinsichtlich der anfallenden Kosten ist bei einer Wirkung auf mehrere Quellen – und somit in der Regel auf unterschiedliche Baulastträger – eine Kostenteilung aufgrund der jeweiligen Haushalte notwendig. Hierzu bestehen mehrere Ansätze, die unterschiedliche Schwerpunkte bei der Kostenteilung setzen (Kapitel 3.3.3).

Das Themenfeld der Lärmwirkung soll aufgrund seiner Komplexität dabei nur oberflächlich betrachtet werden. Im Kern soll auf Meta-Analysen eingegangen werden, die (wie auch die VDI-Richtlinie 3722-2) anwendbare Beurteilungsgrößen herleiten.

Auch auf die möglichen Schutzziele wird nur kurz eingegangen. Es wurde angestrebt, dass das zu entwickelnde Verfahren unabhängig von einer bestimmten Definition eines Schutzziels ist und dass die Anwendung in unterschiedlichen Prozessen (Lärmsanierung, Neu- und Ausbau von Verkehrswegen, Lärmaktionsplanung usw.) möglich ist.

3.3.1 Grundlagen zur Bewertung von Nutzen und Kosten

Verkehrslärm verursacht sowohl finanzielle (Immobilienwertverluste, Gesundheitskosten etc.) als auch indirekte Schäden (Verlust am Wohlbefinden, verringerte Produktivität etc.), die nur schwer in finanzieller Dimension zu fassen sind. Ein Kostenbezug im Immissionsschutzrecht wird unter anderem durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz (Schutz vor erheblichen Nachteilen durch Geräusche), das Grundgesetz (Art. 14 (1), (3) Gewährleistung des Eigentums) und die EU-Richtlinie zum Umgebungslärm (in Lärmaktionsplänen) hergestellt. Gemäß der

EU-Umgebungslärmrichtlinie und der Förderrichtlinie für Lärmsanierungsmaßnahmen an bestehenden Schienenwegen des Bundes (Gleiches gilt für die Lärmsanierung an Straßen) ist im Rahmen der Lärmaktionsplanung [69] aber auch im Rahmen der Lärmsanierung [70] die finanzielle Auswirkung von Lärm und Lärminderung in Form von einer Nutzen-Kosten-Rechnung zu berücksichtigen.

Der finanzielle Aufwand zur Beseitigung der Lärmkonflikte wird als Kosten ermittelt. Diesen wird das Minderungspotenzial der Maßnahmen als die Abnahme der finanziellen Schäden (Nutzen) gegenübergestellt.

3.3.1.1 Volkswirtschaftliche Nutzen-Kosten-Rechnung

Eine volkswirtschaftlich orientierte Nutzen-Kosten-Rechnung zielt auf eine umfassende Erfassung der Lärmschadenskosten ab. Aus europaweit erhobenem Datenmaterial werden etwa in der Studie „External Costs of Transport“ [71] nicht nur reale, sondern auch fiktive Kosten (Verlust an Lebensjahren, Zahlungsbereitschaften für eine Lärminderung usw.) mit berücksichtigt. Die ermittelten Lärmschadenskosten können zum Beispiel in der Lärmaktionsplanung nach Umgebungslärmrichtlinie als finanzbezogene Informationen zur Maßnahmenabwägung miteinbezogen werden.

Bei dieser Analyse wird der Nutzen für Personen in den einzelnen Pegelklassen je nach Verkehrsquelle quantifiziert. Bei Pegelklassen unter 55 dB(A) L_{DEN} und 50 dB(A) L_{Night} wird der Nutzen nach den LAI-Hinweisen zur Lärmaktionsplanung [68] nicht berechnet. Es werden Lärmschadenskosten zur Lärmbelästigung und Gesundheitskosten für Deutschland angegeben. Ziel der volkswirtschaftlichen Nutzen-Kosten-Rechnung ist somit eine Internalisierung der externen Kosten des Lärms.

3.3.1.2 Ermittlung der Wirkung bzw. des Nutzens

Im Zusammenhang mit der Umsetzung von Lärminderungsmaßnahmen ermöglicht die projektbezogene Nutzen-Kosten-Analyse im Gegensatz zu der volkswirtschaftlichen Nutzen-Kosten-Rechnung einen Vergleich mehrerer Maßnahmen hinsichtlich ihrer Kosten und ihres (direkten) Nutzens.

Zur Bestimmung und Monetarisierung der externen Kosten gibt es eine Vielzahl an Studien, die sich in

dem jeweils herangezogenen Indikator unterscheiden. Die meisten Untersuchungen beschränken sich jedoch auf den Immobilienwertverlust und gesundheitliche Schäden [34].

Die Übergänge von einer projektbezogenen zu einer volkswirtschaftlichen Betrachtung sind hierbei fließend, weshalb hier nur wenige, etablierte Methoden vorgestellt werden.

VLärmSchR 97 (Lästigkeit)

Als Indikator für den Nutzen kann der gebäudebezogene Lästigkeitsfaktor (LSF) nach den „Richtlinien für den Verkehrslärmschutz an Bundesfernstraßen in der Baulast des Bundes“ (VLärmSchR 97) herangezogen werden. Dieser wird für die Entschädigung von Außenwohnbereichen genutzt, also für Terrassen, Balkone, Loggien etc.

Als Bemessungsgröße der Entschädigung (ΔLSF) wird die Differenz zwischen dem Lästigkeitsfaktor des Beurteilungspegels am Tage ($LSF_{Lr,T}$) und dem Lästigkeitsfaktor des Immissionsgrenzwertes (LSF_{IGW}) ermittelt.

Nach Anlage 1 der VLärmSchR 97 lassen sich die genannten Lästigkeitsfaktoren wie folgt berechnen [72]:

$$LSF_{Lr,T} = 2^{0,1 * Lr,T}$$

$$LSF_{IGW} = 2^{0,1 * IGW}$$

$$\Delta LSF = LSF_{Lr,T} - LSF_{IGW}$$

Der exponentielle Ansatz der Lärmbelastung sorgt für eine stärkere Gewichtung der Personen, die einer höheren Belastung ausgesetzt sind.

Lästigkeitsfaktoren, bei denen die Beurteilungspegel den jeweiligen Immissionsgrenzwert unterschreiten, werden in der Regel vernachlässigt. Desgleichen bleiben Entschädigungsprozentsätze über 100 unberücksichtigt [72].

Silent City (Immobilienwertverlust)

Der immobilienwertbezogene Nutzen einer Maßnahme bzw. von Maßnahmenbündeln basiert grundsätzlich auf der Abnahme des Immobilienwertverlustes (Miete, Immobilienwert) und der Steuermehreinnahme (Steuer aus Miete, Grunderwerbsteuer, Grundsteuer) bei sinkenden Pegeln.

Die in der Literatur angegebenen Werte weichen je nach Untersuchung stark voneinander ab [73].

Studien zur Monetarisierung des lärmbedingten Immobilienwertverlustes gehen von einem 0,5 bis 1,5 prozentigen Rückgang der Immobilienpreise pro dB(A) bei einem Schwellenwert von 50 dB(A) [74] (Tagesmittelungspegel) aus.

Die Mietmindereinnahmewerte schwanken zwischen 0,5 % und über 2 % pro dB(A) über 50 dB(A) [73]. Der Verlust an mietbezogenen Steuereinnahmen wird auf zwei Euro pro belastetem Einwohner und Jahr geschätzt [75].

Im Modellprojekt der Stadt Norderstedt (Schleswig-Holstein) wurde für den Mietverlust durch Lärmbelastung 0,9 % pro dB(A) und für den Immobilienwertverlust 0,5 % pro dB(A) eingesetzt [75] (jeweils oberhalb von 50 dB(A) Tagesmittelungspegel). Hiermit wurde die volkswirtschaftliche Amortisation einer Lärminderungsmaßnahme ermittelt, die sich nach rund einem Jahr ergibt.

Neuere Erhebungen zum Immobilienwertverlust sind nicht veröffentlicht, die die derzeitige Situation am Immobilienmarkt berücksichtigen.

VDI 3722-2 – Highly Annoyed/%HA (Belästigung)

Zur Ermittlung einer Wirkung durch Belästigung kann zum Beispiel die bereits in Kapitel 3.1.2 und Kapitel 3.2.2.5 vorgestellte VDI 3722-2 herangezogen werden. Für die Verkehrsträger Straßen-, Schienen- und Flugverkehr werden Bewertungsfunktionen für Belästigung (%A/%HA) sowie selbstberichtete Schlafstörung (%SD/%HSD) gegeben. Mithilfe des Substitutionsverfahrens kann die Lärmwirkung auch jeweils in Bezug zu einer Vergleichsgröße (in diesem Fall dem Straßenverkehrslärm) ermittelt werden. Hierzu werden die Mittelungspegel aus Luft- und Schienenverkehr auf wirkungsäquivalente Pegel zum Straßenverkehr umgerechnet. Im Ergebnis lässt sich mit der VDI 3722-2 der Anteil belästigter Personen in einem Gebiet ermitteln und für eine Bewertung heranziehen.

LärmKennZiffer – LKZ (Maß einer Schwellenwertüberschreitung)

Eine Bewertung der Belastung kann auch über verschiedene Indexmethoden erfolgen, zu denen die LärmKennZiffer-Methode (LKZ-Methode) [76] gehört. Die LKZ ist ein Maß für die Anzahl Betroffener, die mit der Überschreitung eines (frei wählbaren) Schwellenwertes gewichtet werden.

Sie ergibt sich aus der Multiplikation der Schwellenwertüberschreitung mit der Anzahl der Betroffenen (siehe folgende Gleichung). Diese Ermittlung kann zum Beispiel pro Pegelklasse oder bei detaillierten Berechnungen pro Fassadenpunkt erfolgen, die LKZ wird dann über ein Gebiet aufsummiert.

$$LKZ = (\text{Pegel} - \text{Schwellenwert}) \times \text{Betroffene}$$

Es existieren weitere Methoden wie der NoiseScore [77], die jedoch andere Gewichtungen vornehmen. Der NoiseScore (NS) basiert auf einer Funktion, die linear vom Schallpegel L_{DEN} abhängt. Sie weist unter 65 dB(A) eine geringere Steigung auf als oberhalb. Der sich aus der Funktion ergebende Wert wird mit der Betroffenenanzahl multipliziert.

Weitere Verfahren

Zur Ermittlung der Wirkung bzw. des Nutzens können grundsätzlich auch Methoden aus anderen Verfahren angewandt werden.

Im Weiteren wird als Methode zur Ermittlung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses das Lästigkeitsmaß (DEGES-Methode) eingeführt (siehe Kapitel 3.3.2.3). Das Lästigkeitsmaß wird als Bewertung des Nutzens genannt und kann auch unabhängig von der weiteren Nutzen-Kosten-Betrachtung des Verfahrens eingesetzt werden.

Auch das Modell des Umweltbundesamtes (siehe Kapitel 3.3.3.3) beinhaltet einen Index, der die Wirkung von Maßnahmen ermittelt. Dieser kann ebenfalls unabhängig vom Verfahren angewandt werden.

3.3.1.3 Ermittlung der Maßnahmenkosten

Bei den Kosten handelt es sich in der Regel um den finanziellen Aufwand, der bei der Beseitigung der Schäden auftritt. Zu beachten sind nicht nur die Herstellungs- und Betriebskosten, sondern auch die Planungskosten. So wären beispielsweise für die Einführung einer Tempo-30-Zone sowohl die Kosten für die notwendige Beschilderung als auch der Aufwand für die Anpassung von Lichtsignalanlagen in dem Verkehrsnetz zu berücksichtigen.

Eine Abschätzung über die Kosten von Maßnahmen an Bundesfernstraßen sind der Tabelle 6 zu entnehmen.

Eine umfangreiche Kosten-Ermittlung sollte bei konkreten Projekten im Einzelfall erfolgen, für die

Maßnahme	Kosten
Lärmschutzwand	13 €/m ³ , Wallhöhe 4 m: 91 €/m ² * Wallhöhe 6 m: 130 €/m ² * Wallhöhe 8 m: 169 €/m ² *
Lärmschutzwand	394 €/m ²
Offenporiger Asphalt [78]	~14 €/m ² **
Steilwälle	323 €/m ²
Absorbierende Bekleidungen	139 €/m ²
Lärmschutzfenster	592 €/m ²
Lüftungseinrichtungen	596 €/Lüftungseinrichtung
* Kosten für 1 m ² wirksame Abschirmfläche	
** Im Mittel für alle Maßnahmen bis 2016. Die Werte streuen je nach örtlichen Besonderheiten stark!	

Tab. 6: Abschätzung der Kosten von Maßnahmen anhand der durchschnittlichen Kosten von Maßnahmen auf Bundesfernstraßen [78]

Modellberechnungen sprengt die notwendige Komplexität jedoch den Rahmen des Projektes. Insbesondere die jährlichen Wartungs- und Unterhaltungskosten werden hier nicht berücksichtigt. Für eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung wird z. B. auf die „Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Straßen (EWS)“ [60] von 1997 beziehungsweise die Überarbeitung „Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (RWS)“ (nach aktueller Information noch in Bearbeitung) verwiesen.

Im Rahmen der Modellrechnungen innerhalb dieses Projektes werden die in Tabelle 7 genannten Kostenansätze gewählt. Diese basieren einerseits auf den Statistiken zum Lärmschutz an Bundesfernstraßen [78], andererseits auf der UBA-Veröffentlichung zum Schienenverkehr [79]. Die Ansätze wurden dabei jeweils pauschalisiert und zum Teil aufgerundet. Bei konkreten Planungen sind die Kosten mit dem Vorhabenträger zu verifizieren. Die genannten Kosten stellen teilweise nur Schätzungen der jeweiligen Autoren dar.

Die in den Quellen genannten Kosten beziehen sich jeweils auf unterschiedliche Lebenszeiträume der Maßnahmen. Um eine Vergleichbarkeit zu erreichen, wird für regelmäßig zu erneuernde Maßnahmen auf eine Laufzeit von 20 Jahren abgestellt. Dies betrifft vor allem die Maßnahmen des besonders überwachten Gleises, das alle vier Jahre erneuert werden muss, aber auch offenporige Asphaltte müssen zum Erhalt ihrer Wirkung in diesem Zeitraum ggf. mehrmals erneuert werden.

	Maßnahme	Kosten (ca.) bezogen auf ca. 20 Jahre	Anmerkungen
	Lärmschutzwand	400 €/m ²	
	Lärmschutzwall	100 €/m ²	Bezogen auf die effektive Abschirmfläche, stark abhängig von der Höhe
		15 €/m ³	
	Besonders überwachtetes Gleis Erneuerung alle 4 Jahre [79]		
	50.000 €/km		
	Niedrige Lärmschutzwand	~1,2 Mio. €/km	Stark unterschiedliche Kosten durch unterschiedliche Bauweisen
	Offenporiger Asphalt Erneuerung alle 6-10 Jahre	~15 €/m ²	Erhöhte Unterhaltskosten z. B. für Winterdienst (nicht berücksichtigt)
	Splittmastixbelag Erneuerung alle 15 Jahre	~7 €/m ²	
	Straßenneubau	1-10 Mio. €/km	Stark abhängig vom Einzelfall
	Geschwindigkeitsbegrenzungen, Verkehrsorganisation/-lenkung etc.	?	Stark abhängig vom Einzelfall

Tab. 7: Kostenansätze für die Modellgebiete (vereinfachte, pauschalisierte Ansätze)

Für den Neubau einer Straße (oder Verlegung bzw. größerer baulicher Eingriff) wirken sich die hohen Kosten der erstmaligen Herstellung stark auf die Wirtschaftlichkeit aus. In den Folgejahren sind jedoch geringere Kosten zu erwarten.

3.3.2 Methoden zur Ermittlung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses

Qua Gesetz sind aktive Maßnahmen einem passiven Lärmschutz im Rahmen der Lärmvorsorge nach 16. BImSchV vorzuziehen. Allerdings kann aktiver Lärmschutz unterbleiben, wenn die Kosten für aktive Maßnahmen unverhältnismäßig sind:

Das vorrangige Schutzziel ist in der Regel die Ausführung einer Lärmschutzvariante als „Vollschutz“, bei dem an sämtlichen relevanten schutzbedürftigen Nutzungen ein definiertes Schutzziel erreicht wird. Diese Variante stellt die methodische Ausgangsvariante für die Ermittlung des Verhältnisses von Kosten zu Schutzzweck dar. Dieser bildet die Grundlage zur Bewertung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses weiterer Lärmschutzvarianten.

Erweist sich der mit dem „Vollschutz“ verbundene Aufwand als unverhältnismäßig, kann schrittweise hiervon abgewichen werden und diejenige Variante mit gerade noch verhältnismäßigem Aufwand zur Verbesserung der Lärmsituation ermittelt werden. Die hinzunehmende Relation zwischen Nutzen und Kosten bestimmt sich dabei nach den Umständen des Einzelfalls, die Gleichbehandlung der Lärmbe-

troffenen sollte dabei stets gewahrt werden. Kriterien für die Bewertung können dabei Vorbelastung, Schutzbedürftigkeit, die Zahl der betroffenen Personen sowie die resultierenden Grenzwertüberschreitungen als auch Wertverluste von Grundstücken sein¹¹.

3.3.2.1 Schutzfall-Methode nach Umwelt-Leitfaden VI des EBA

Im Umweltschutzleitfaden VI des EBA [53] wird ein Verfahren vorgestellt, dass die notwendigen Arbeitsschritte für eine Variantenuntersuchung aktiven Lärmschutzes und für die Erstellung eines Lärmschutzkonzeptes nach Maßgabe des § 41 BImSchG vorsieht.

An erster Stelle des Verfahrens steht die Ermittlung der Schutzfälle, die sich aus der Zahl der Nutzungseinheiten mit Lärmschutzansprüchen ergibt (jede Wohneinheit mit Lärmschutzanspruch zählt als ein Schutzfall). Der Lärmschutzanspruch wird dabei nach 16. BImSchV ermittelt.

Aus den ermittelten Schutzfällen werden räumlich abgrenzbare Schutzabschnitte gebildet. Abschnitte können z. B. durch die Trasse selbst getrennt sein (beide Seiten bilden je einen eigenen Abschnitt),

¹¹ BVerwG, Urteil vom 13.05.2009 – 9 A 72.07 BVerwG, Urteil vom 20.01.2010 – 9 A 22.08

unbebaute Abschnitte entlang der Trasse können Abschnitte trennen, aber auch andere Kriterien wie die Schutzbedürftigkeit oder der Abstand zur Bahntrasse können gewählt werden.

Für die Schutzabschnitte folgt dann eine Variantenuntersuchung zu aktivem Lärmschutz. Ausgehend von einem Vollschutz, der sämtliche auftretenden Schutzfälle löst, wird in geeigneter Abstufung z. B. die Höhe der Wände reduziert.

Die eigentliche Kosten-Nutzen-Analyse erfolgt dann anhand der Kosten je gelöstem Schutzfall. Dieser ergibt sich als Quotient der Gesamtkosten der Variante und der Zahl der gelösten Schutzfälle.

Zur Auswertung wird unter anderem ein Diagramm mit der Darstellung sowohl der Anzahl verbleibender Schutzfälle als auch der Kosten pro gelöstem Schutzfall verwendet (Bild 47). Eine solche Abbildung soll einen schnellen Überblick sowohl über die schalltechnische Wirksamkeit als auch das Kosten-Nutzen-Verhältnis geben. Unstetigkeiten im Kurvenverlauf, die als Sprünge erkennbar sind, sind ein Indiz für einen unverhältnismäßigen Aufwand.

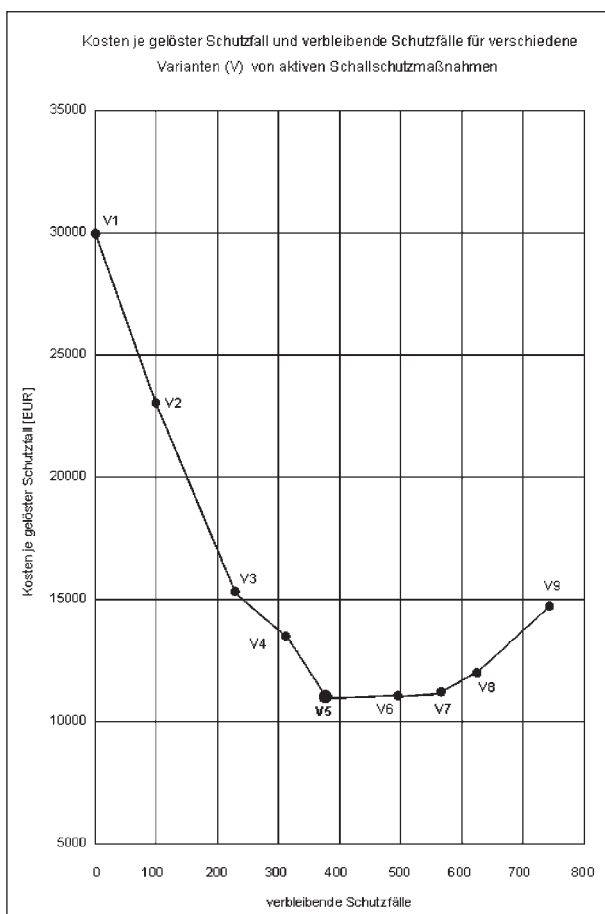


Bild 47: Kosten/gelöster Schutzfall und verbleibende Schutzfälle (Beispiel) (aus [53])

3.3.2 Schutzfall-Methode nach Variantenuntersuchung Niedersachsen

Eine weitere Umsetzung der Schutzfall-Methode zur Bewertung der jeweiligen Varianten der aktiven Lärmschutzmaßnahmen findet sich in der Methodik für die Variantenuntersuchung von aktiven Lärmschutzmaßnahmen [80] der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (NLSt-BV) aus dem Jahr 2018.

Im Ergebnis eines zu ermittelnden Kosten-Schutzzweck-Verhältnisses können Tabellen und Grafiken für jede Lärmschutzmaßnahme stehen, in der die Schutzfälle Lärmpegelklassen und Kosten der Lärmschutzmaßnahme zugeordnet sind. Aus dem Vergleich der Lärmschutzmaßnahmen hinsichtlich der Wirkung auf die Schutzfälle und der Kosten ist daraus eine Maßnahme zu wählen, welche ein angemessenes Kosten-Schutzzweck-Verhältnis aufweist.

Für die Bewertung der aktiven Lärmschutzmaßnahmen der jeweiligen Varianten werden folgende Komponenten berücksichtigt:

- Schutzfall (SF),
- Lautheitsgewicht (LGW bzw. g),
- kapitalisierte Kosten der Lärmschutzmaßnahmen.

Auf Basis dieser Komponenten werden anschließend Effektivität, Effizienz und der Verhältnismäßigkeitswert (effektive Effizienz) berechnet und tabellarisch sowie grafisch dargestellt.

Schutzfall (SF)

Ein Schutzfall im Sinne der Methodik der NLStBV (2018) ist eine Überschreitung des Immissionsgrenzwertes, die sich auf eine Länge von 10 m eines Fassadenabschnittes bezieht. Aufgrund der in Wirklichkeit variierenden Fassadenlängen, die selten genau 10 m betragen, werden die einzelnen Fälle der Überschreitungen mit einem Faktor umgerechnet. Sollte an einer Fassade des Gebäudes der Immissionsgrenzwert überschritten werden, errechnet sich der Faktor indem die tatsächliche Länge der Fassade durch den Bezugswert von 10 m geteilt wird. Liegt beispielsweise an einer 33 m langen Fassade eine Überschreitung des Immissionsgrenzwertes vor, so entspricht dies 3,3 Schutzfällen. Ein Außenwohnbereich ist als ein ganzer Schutzfall zu betrachten.

Die Grenzwertpegel, oberhalb derer eine Bewertung vorgenommen wird, entsprechen den Lärmvorsorgengrenzwerten der 16. BImSchV. Die Schutzfälle werden nach Höhe der Überschreitung des Immissionsgrenzwertes in mehrere Überschreitungsklassen unterteilt und dargestellt.

Lautheitsgewicht (LGW)

Die Höhe einer Überschreitung des Immissionsgrenzwertes wird anhand des Lautheitsgewichtes (LGW) ermittelt. Das Lautheitsgewicht stammt aus den Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS) [60] und wird wie folgt berechnet:

$$LGW = 2^{0,1 \cdot (L_r - IGW)}$$

mit L_r Beurteilungspegel in dB(A)
 IGW Immissionsgrenzwert in dB(A)

Das Lautheitsgewicht ist bei Pegeln kleiner oder gleich dem Immissionsgrenzwert per Definition Null und steigt mit der Steigung der Überschreitung über den Immissionsgrenzwert an. Darüber hinaus verhält sich das Lautheitsgewicht proportional zu der Lautstärke. Beispielsweise bei einer Zunahme oberhalb des Immissionsgrenzwertes um 10 dB, was eine gefühlte Verdoppelung der Lautstärke bedeutet (energetisch ist die Verdopplung bei 3 dB Pegelanstieg erreicht), verdoppelt sich auch das Lautheitsgewicht.

Bei der Bewertung wird das errechnete Lautheitsgewicht identisch zu den Schutzfällen anhand des beschriebenen Faktors pro 10 m Fassadenlänge umgerechnet.

Kosten der Lärmschutzanlagen an Straßen

Zur Kostenermittlung sollten projektspezifische Kostenansätze gewählt werden, um Besonderheiten des jeweiligen Falls zu berücksichtigen. Für eine erste Einschätzung können pauschale Ansätze (wie in Kapitel 3.3.1.3) angewandt werden.

Bei der Berücksichtigung des offenporigen Asphalts (OPA) sollten beim Neubau von Straßen die Mehrkosten angesetzt werden, die im Vergleich zur konventionellen Deckschicht entstehen. Darüber hinaus müssen aus der erforderlichen OPA-Brückentwässerung resultierende Kosten in die Berechnungen einbezogen werden. Für die Entwässerung des OPA werden zusätzliche Kastenrinnen in Bereichen der Brückenbauwerke eingebaut.

Die aus den Einheitspreisen zu entwickelnden kapitalisierten Kosten werden nach der Ablöseverordnung [81] berechnet. Die kapitalisierten Kosten bilden sich aus der Summe, die nötig ist, um aus deren Ertrag den Bau, die Unterhaltung und die Wiederherstellung nach dem Ende der Nutzungsdauer zu finanzieren.

Die Herstellungskosten und die kapitalisierten Erhaltungskosten gehen in die Bewertung der Lärmschutzmaßnahmen ein. Dazu wird für jede Maßnahme eine Fläche ermittelt, die mit den summierten Kosten je m² multipliziert wird, so dass die Kosten je Schutzmaßnahme feststehen.

Effektivität, Effizienz und der Verhältnismäßigkeitswert

Ein Maß, anhand dessen sich eine Minderung des Lautheitsgewichtes der Lärmschutzmaßnahmen ermitteln lässt, ist die Effektivität:

$$\text{Effektivität} = \frac{\sum LGW_{oLS} - \sum LGW_{mLS}}{\sum LGW_{oLS}}$$

mit $\sum LGW_{oLS}$ Summe aller Lautheitsgewichte ohne Lärmschutz
 $\sum LGW_{mLS}$ Summe aller Lautheitsgewichte mit Lärmschutz

Bei Vollschutz $\sum LGW_{mLS} = 0$ ergibt sich für die Effektivität 1 bzw. 100 %.

Das Verhältnis der Kosten zum Schutzzweck wird hier über die sog. Effizienz je 10.000 € beschrieben:

$$\text{Effizienz} = \frac{\sum LGW_{oLS} - \sum LGW_{mLS}}{\text{Kosten [10.000 €]}}$$

Je höher der Wert der Effizienz, desto wirtschaftlicher ist die Lärmschutzmaßnahme. Um Effektivität und Effizienz gemeinsam bewerten zu können, da sich diese tendenziell eher diametral verhalten, wird der Verhältnismäßigkeitswert, der auch als „effektive Effizienz“ bezeichnet wird, berechnet:

$$\text{Verhältnismäßigkeit} = \text{Effektivität} * \text{Effizienz}$$

Diese Größen werden zur Bestimmung einer möglichen Vorzugsvariante zugrunde gelegt. Allerdings können sie ebenfalls belegen, dass die aus der Variantenuntersuchung resultierenden Kosten pro gelöstem Schutzfall unangemessen hoch zu dem angestrebten Schutzziel stehen.

3.3.2.3 Lästigkeitsmaß (DEGES-Methode)

Grundlage der Bewertung einer Maßnahme nach dem Lästigkeitsmaß nach der DEGES-Methode (u. a. veröffentlicht in [82]) ist die Bewertung der Minderung des Beurteilungspegels in Relation zu einem Schutzziel (z. B. Immissionsgrenz- oder Orientierungswert). Dabei wird eine Pegelminderung z. B. von 60 auf 55 dB(A) nicht einer Pegelminderung von 55 auf 50 dB(A) gleichgesetzt, da die Beeinträchtigung bei höheren Pegeln deutlich höher ist.

Lästigkeitsmaß und Effektivität

Zur Bewertung des Schutzzwecks wird das sogenannte Lästigkeitsmaß herangezogen, das sich an die Lästigkeitsfaktoren der VLärmSchR97 [72] anlehnt:

$$LKM = 2^{0,1 \cdot L_r - 2^{0,1 \cdot IGW}}$$

für $L_r > IGW$, sonst 0

mit L_r – Beurteilungspegel in dB(A)

IGW – Immissionsgrenzwert oder anderer Zielwert in dB(A)

Das Lästigkeitsmaß kann für ein Betrachtungsgebiet aufsummiert werden.

Die Bewertung kann abhängig von der Nutzung sowohl für den Tag- als auch den Nachtzeitraum durchgeführt werden. Hierbei sollte der Zeitraum mit der höheren Überschreitung gewählt werden. Die Höhe des LKM ist abhängig vom gewählten Zielwert IGW , für einen Grenzwert von 60 dB(A) ist es in Bild 48 dargestellt.

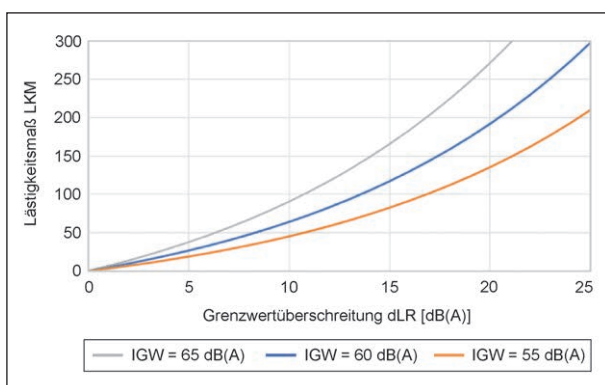


Bild 48: Lästigkeitsmaß über Grenzwertüberschreitung

Die Effektivität einer Maßnahme kann über die Summen der Lästigkeitsmaße mit und ohne die Maßnahme ermittelt werden:

$$Effektivität = \frac{LKM^{oLS} - LKM^{mLS}}{LKM^{oLS}}$$

mit LKM^{oLS} Summe der Lästigkeitsmaße ohne Maßnahme

LKM^{mLS} Summe der Lästigkeitsmaße mit Maßnahme

Die Effektivität beschreibt wesentlich die Wirksamkeit der Maßnahme. Alleine ist diese zur Bewertung jedoch nicht anwendbar, da ohne Beschränkung der Kosten fast immer eine Effektivität von 100 % erreicht werden kann.

Kosten

Die Kosten werden bei der DEGES-Methode nach den Ablöserichtlinien [83] ermittelt. Hier gehen verschiedene Kostenkomponenten ein, neben den einmaligen Kosten auch jährliche Betriebs- und Unterhaltungskosten, bezogen auf eine Nutzungs- bzw. Restnutzungsdauer.

Es werden die relativen Kosten (Kosten pro LKM) ermittelt, damit bei höheren Beeinträchtigungen höhere erlaubte Kosten berücksichtigt werden:

$$relative\ Kosten = \frac{Kosten}{LKM^{oLS}}$$

Da die relativen Kosten nicht die Effektivität einer Maßnahme berücksichtigen, sind sie als alleiniger Bewertungsmaßstab ebenfalls nicht einsetzbar.

Effizienz

Als Entscheidungshilfe im Abwägungsprozess wird die Effizienz als das Verhältnis von Schutzzweck zu Kosten definiert:

$$Effizienz = \frac{Effektivität}{rel. Kosten} = \frac{LKM^{oLS} - LKM^{mLS}}{Kosten}$$

Die Effizienz ist dabei kein Absolutwert, mit dem eine Bewertung stattfinden kann (Beispiel Effizienz > 1 gut, Effizienz < 1 schlecht), sondern ist nur im Rahmen eines Variantenvergleichs anzuwenden. Ein Maximum der Effizienz kann sich ergeben, wenn weitere Verbesserungen nur mit erheblichem Kostenaufwand möglich sind.

Interpretation: Wahl der Schallschutzmaßnahme

Die Effektivität ist wie folgt zu interpretieren: 1 oder 100 % bedeutet Vollschutz. Maßnahmen mit einer geringen Effektivität sind nicht zu empfehlen. In einem zweiten Schritt sind auch die übrigen Kenngrößen (Effizienz) zu bewerten. Ideal ist ein Maximum der Effizienz bei gleichzeitig hoher Effektivität.

3.3.2.4 Lärmsanierung Schiene (Abwägung von Maßnahmen – Aktiv/Passiv)

Bei der Lärmsanierungsplanung an bestehenden Schienenwegen des Bundes erfolgt die Abwägung zwischen aktiven und passiven Lärmsanierungsmaßnahmen anhand eines Nutzen-Kosten-Verhältnisses (NKV), das in der „Richtlinie für die Förderung von Maßnahmen zur Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes“ [70] beschrieben wird.

Dabei ist das NKV wie folgt zu ermittelt:

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

Die Richtlinie legt in der überarbeiteten Fassung 2018 für den Nutzen (NU) aktiver Maßnahmen 66 Euro pro Einwohner, dB(A) Pegelminderung und Jahr fest.

Die mittlere Pegelminderung (dL) ist in dB(A) anzugeben und aus schalltechnischen Berechnungen zu entnehmen.

Zudem ist die Anzahl der Einwohner (E), die von der Auslösewertüberschreitung betroffen sind, einzugeben. Unter der Annahme einer Belegungsdichte von 2,1 (Einwohnern pro Wohneinheit) kann die Anzahl der Einwohner auch anhand der Anzahl an Wohneinheiten (WE) ermittelt werden:

$$E = WE * 2,1$$

Als Nutzungsdauer (t) sind 25 Jahre anzusetzen.

Die Höhe der für die Maßnahmen erforderlichen Zuwendungen bei einer angenommenen Nutzungsdauer von 25 Jahren (K) ist in Euro anzugeben.

Nach Richtlinien [70] sind im Rahmen eines Lärmsanierungsprogramms aktive Maßnahmen an der Schiene als wirtschaftlich und somit auch genehmigungsfähig zu betrachten, wenn das NKV größer eins ist.

3.3.2.5 Schweizer Modell

Ergänzend zu den bisher vorgestellten nationalen Methoden soll eine weitere Methode vorgestellt werden, die in der Schweiz angewandt wird. Zur Beurteilung der Kostenverhältnismäßigkeit und Interessenabwägung von Lärmschutzmaßnahmen wurde ein Modell durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU) in der Schweiz entwickelt, das in der Schriftenreihe Umwelt Nr. 301 beschrieben wird [84]. Dieses Modell ist aus zwei Vorgehensstufen aufgebaut (siehe dazu Bild 49).

In Schritt A wird der maximal mögliche Nutzen monetarisiert, indem die Größenordnung der volkswirtschaftlichen Kosten für künftige Lärmschutzmaßnahmen abgeschätzt wird.

In Schritt B werden mithilfe der Kriterien „Effizienz“ (Nutzen/Kosten) und „Effektivität“ (Zielerreichung bezüglich der Grenzwerte) die Kosten und der volkswirtschaftliche Nutzen hinsichtlich einer Interessenabwägung bewertet. Bei der Quantifizierung der volkswirtschaftlichen Kosten ist zu beachten, dass mögliche Interessenkonflikte (Stadt- und Wohn-

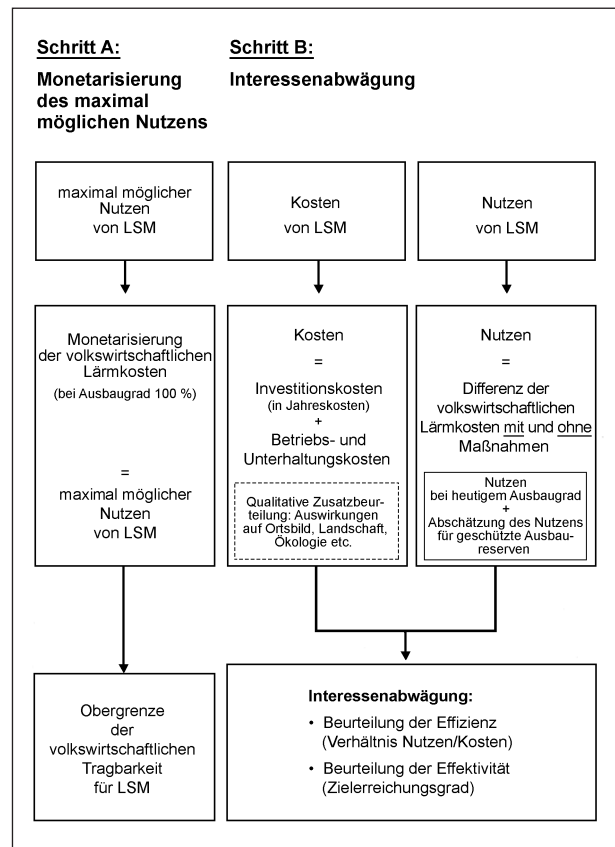


Bild 49: Vorgehensweise zur Monetarisierung des maximal möglichen Nutzens (Schritt A) und Interessenabwägung (Schritt B) im Schweizer Modell [84] (LSM = Lärmschutzmaßnahme)

qualität, Verkehrssicherheit usw.) identifiziert und diese nach dem Maß der Beeinträchtigung in die Beurteilung miteinbezogen werden.

Die Beurteilung der wirtschaftlichen Tragbarkeit und Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen erfolgt anhand des sogenannten Indexes der wirtschaftlichen Tragbarkeit (*WTI*). Der *WTI* lässt sich wie im Folgenden berechnen [84]:

$$WTI = \frac{\text{Effektivität} * \text{Effizienz}}{25}$$

Der zu beurteilenden Maßnahme kann anhand des ermittelten *WTI* eine der folgenden Kategorien zugeordnet werden:

- $WTI > 4,0$ = sehr gut,
- $WTI > 2,0$ = gut,
- $WTI \geq 1,0$ = genügend,
- $WTI < 1,0$ = ungenügend,
- $WTI < 0,5$ = schlecht.

Zudem wird der *WTI* in einem sogenannten Effizienz-Effektivitäts-Diagramm (siehe Bild 50) dargestellt. Anhand dessen erfolgt die Gesamtbeurteilung eines Projektes hinsichtlich der rechtlich geforderten Interessenabwägung.

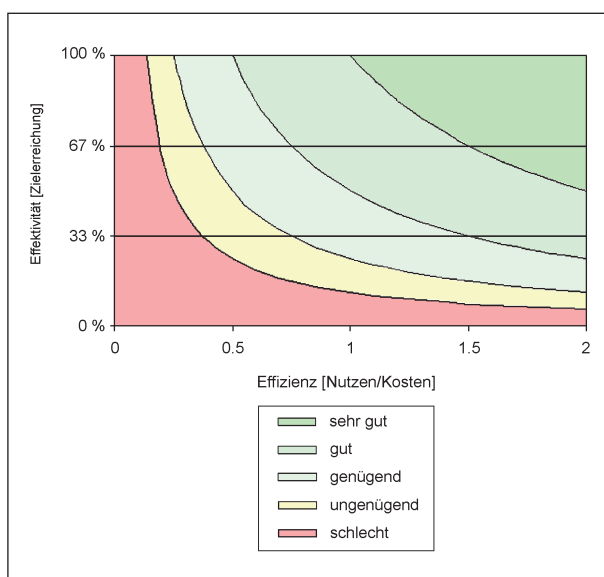


Bild 50: Optimiertes Effizienz-Effektivitäts-Diagramm – Schweizer Modell [84]

3.3.2.6 Modell des Umweltbundesamtes (UBA)

Im Rahmen eines Vorschlags zur Kostenverteilung wird vom Umweltbundesamt auch eine Nutzenbewertung als Nutzen-Kosten-Verhältnis vorgeschlagen. Diese ist ausführlich mit dem Ansatz zur Kostenverteilung in Kapitel 3.3.3.3 erläutert.

3.3.3 Methoden zur Kostenverteilung

Neben der kumulierten Lärmbelastung sowie der daraus resultierenden Belästigung mithilfe verschiedener Verfahren der Addition und Bewertung ist auch die Verteilung der Kosten auf die einwirkenden Schallquellen bei der Planung von Lärmschutzmaßnahmen zu betrachten.

Hierbei ist besonders der verkehrsträgerübergreifende Lärmschutz für das Projekt von Interesse. So könnte die Errichtung einer Lärmschutzwand (bei entsprechender Lage zu Quelle und Empfänger) zum Beispiel nicht nur den Lärm einer Straße, sondern auch den eines Schienenweges abschirmen.

Um die Kosten nicht nur dem Verkehrsträger anzulasten, der die entsprechende Maßnahme umsetzt, sind gesonderte Verfahren notwendig, um die Kosten möglichst verursachungsgerecht zu verteilen. Darüber hinaus können auch Priorisierungen Teil der Kostenverteilungskonzepte sein, die den Vergleich verschiedener Lärmschutzmaßnahmen hinsichtlich ihres Nutzens bewerten.

Im Modell zur Gesamtlärbewertung des UBA [9] werden ebenfalls Finanzierungsmodelle für Maßnahmen bei Gesamtlärm betrachtet. Die Übersicht bestehender Modelle deckt sich weitgehend mit den in diesem Projekt identifizierten Verfahren (Modell des UBA sowie aus Baden-Württemberg). Neben diesen beiden Modellen sowie den in den VLärmSchR97 enthaltenen Vorschlägen werden auch die im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelten Vorschläge vorgestellt.

3.3.3.1 VLärmSchR97

In Kapitel XI der VLärmSchR97, „Kostentragung beim Zusammentreffen mehrerer Verkehrswege“, werden Vorschläge für eine Kostenteilung in verschiedenen Situationen getroffen. Es gibt jedoch keine konkreten Vorgaben, wie diese auszugestalten ist:

- Für gemeinsame Lärmschutzeinrichtungen, die bei „räumlichem Zusammenhang“ bei Ansprü-

chen auf Lärmvorsorge aus mehreren Vorhaben bestehen, wird eine Kostenteilung anhand der „mittleren Überschreitung“ jedes Verkehrswegs vorgeschlagen.

- Bei Parallelführung neuer Vorhaben zu bestehenden Verkehrswegen sind die Kosten für Lärmschutz voll dem neu hinzukommenden Verkehrsweg anzulasten.
- Für Kreuzungsbereiche wird eine Kostenteilung nach Kreuzungsrecht vorgeschlagen.

Insgesamt umfassen die VLärmSchR97 nur wenige konkrete Vorschriften zur Ermittlung und Bewertung der Kostenteilung. Für die erstgenannte Variante wird als Beispiel aufgeführt, dass bei einer Pegelüberschreitung zweier Quellen im Mittel von 7 dB(A) bzw. 5 dB(A) die Kostenteilung zu 7/12 bzw. 5/12 erfolgt.

3.3.3.2 Konzept für eine ruhigere Umwelt (BaWü)

In einem Modellprojekt hat das Land Baden-Württemberg ein Konzept zur verursachungsgerechten Verteilung von Kosten bei Mehrfachbelastungen aus Straßen- und Schienenverkehr erprobt [85,86,87]. Das Verfahren basiert auf einer Ermittlung der jeweiligen Anteile unterschiedlicher Quellen (Straße/Schiene, unterschieden auch nach Baulastträger) an der Gesamtbelastung nach folgender Gleichung [87]:

$$\frac{10^{0,1xA}}{10^{0,1xA} + 10^{0,1xB}} \times 100 = \text{Anteil A in \%}$$

Anhand des Verfahrens lässt sich der Anteil jeder Lärmquelle an der Gesamtbelastung (berechnet für einen Raster- oder Fassadenpunkt, summiert für ein Gebiet) bestimmen. Betrachtet werden für eine Kostenverteilung einzig jene Punkte, die über einem bestimmten Schwellenwert (Auslösewert) liegen.

Hierzu wird zudem auf die LärmKennZiffer (LKZ) [76] zurückgegriffen. Diese berechnet sich zum Beispiel für einen einzelnen Fassadenpunkt aus der Überschreitung eines Schwellenwertes multipliziert mit der Anzahl der jeweils Betroffenen. Für die Betrachtung eines Gebiets werden diese Werte aufsummiert.

Für alle berechneten Punkte i wird der Anteil einer Lärmquelle j an der Gesamtbelastung als LKZ jeweils über den spezifischen Anteil einer Lärmquelle am Punkt berechnet [88]:

$$\text{Anteil}_{LKZ_j} \text{ in \%} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Anteil}_{j,i} * LKZ_i}{\sum_{i=1}^n LKZ_i} * 100$$

Aus den so ermittelten Anteilen lassen sich dann für ein Gebiet, in dem eine Maßnahme umgesetzt werden soll, prozentuale Verursacheranteile ermitteln. Anhand dieser lassen sich die für Lärmschutzmaßnahmen anfallenden Kosten verteilen.

Im Beispiel in Bild 51 sind die prozentualen Anteile aufgeführt, die sich für die einzelnen Lärmquellen ergeben. Die Straße ist dabei auch nach mehreren Baulastträgern getrennt berücksichtigt.

Eine für das Sanierungsgebiet vorgegebene bzw. angesetzte Summe, in diesem Fall 2 Millionen €,

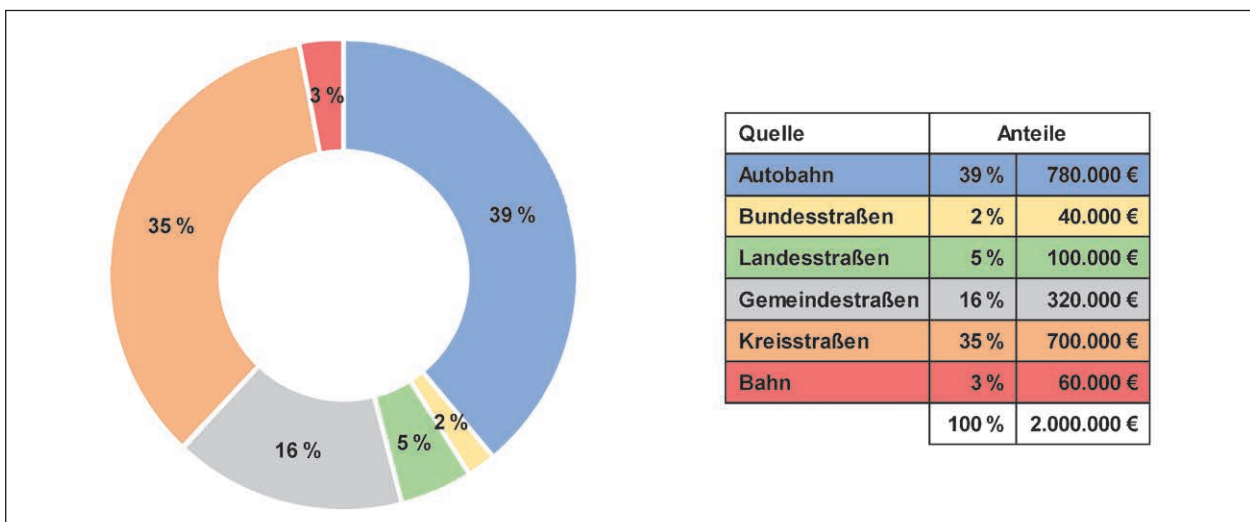


Bild 51: Prozentuale Verursacheranteile und fiktive Kostenverteilung [85]

Sanierungsgebiet	Kosten pro verringertem (Einwohner x Dezibel)				
	(LKZ _{Straße, Night} > 55 dB(A))				
	alle Maßnahmen*	Fahrbahn-sanierung*	Tempo 30	Straßenraum-gestaltung	Lichtsignal-koordination
Eislingen/Fils	1.341 €	1.948 €	41 €	1.559 €	-
	3.304 €	5.654 €			
Salach	6.402 €	2.888 €	333 €	8.072 €	
	10.296 €	8.392 €			
Süßen	5.828 €	3.045 €	40 €	17.938 €	341 €
	9.622 €	8.842 €			

* Der obere Kostenwert gilt bei einer Fahrbahndeckensanierung, der untere bei grundhafter Fahrbahnerneuerung.

Tab. 8: Nutzen-Kosten-Verhältnis exemplarischer Maßnahmen [88]

wird anhand der prozentualen Verteilung den Verursachern der Bestandslärmsituation zugewiesen. Bei der Verteilung wird einzig berücksichtigt, wie die Gesamtlärmbelastung hervorgerufen wird. Die Kosten werden nicht anhand der jeweils an der einzelnen Quelle erreichten Lärmpegelminderung verteilt.

Die Wahl der Maßnahmen erfolgt dabei so, dass über alle Lärmquellen der maximale Nutzen erreicht wird. Eine Priorisierung der Maßnahmen findet dabei über die Minderungswirkung, bewertet durch die LKZ, in Kombination mit den jeweiligen Kosten statt (siehe Tabelle 8). Bevorzugt werden zum Beispiel die Maßnahmen, die die geringsten Kosten pro Minderungswirkung haben.

Im Beispiel werden für drei unabhängige Sanierungsgebiete je vier Maßnahmen bewertet. Die Kosten sind pro verringerter Belastung (Einwohner * Dezibel) angegeben, niedrige Kosten bedeuten als eine höhere Effizienz. Nicht bewertet wird hier die Effektivität.

Ziel des Verfahrens ist es dabei, für ein zuvor definiertes Gebiet den auch unter Kostengesichtspunkten bestmöglichen Einsatz von Lärmschutzmaßnahmen zu erreichen. Daher sollen die Kosten nicht entsprechend dem Nutzen (der Minderungswirkung) für die einzelne Quelle, sondern entsprechend dem Nutzen für das Gesamtgebiet verteilt werden.

Grundsätzlich ist das Kostenverteilungsverfahren auch unter Berücksichtigung einer wirkungsgerechten Addition umsetzbar. Hierauf wurde jedoch besonders im Hinblick auf eine möglichst hohe Einfachheit verzichtet, da das Verfahren möglichst leicht kommunizierbar sein soll, um eine hohe Akzeptanz sicherzustellen.

3.3.3.3 Finanzierungsmodell auf Grundlage von EBI/WEBI (UBA)

Vom Umweltbundesamt kommt ein Vorschlag zur Kostenverteilung, der wahlweise auf einer energetischen oder einer wirkungsgerechten Gesamtlärmbewertung¹² aufbaut [89,90,9]. Kern des Verfahrens ist das Verursacherprinzip: Es sollen nur Kosten anfallen für „Schäden“, die der jeweilige Verkehrsträger auch verursacht. Der Nutzen einer Lärminderungsmaßnahme bemisst sich demnach aus Sicht des Baulastträgers aus der Minderung seiner „Lärmhypothek“. Zur Quantifizierung des Nutzen muss diese „Lärmhypothek“ ermittelt werden. Hierzu wird eine Kennzahl für die Belastung gesucht. Dabei soll die gesamte Wirkung einer Maßnahme beschrieben werden, der Index „ist also ein integrales Maß für das gesamte Einwirkungsgebiet der Maßnahme“ [90].

Index „EBI“

Als Kennzahl für die Kostenverteilung wird als eine Möglichkeit der rein energetische Belastungs-Index „EBI“ eingeführt. Dieser steht dafür, „dass der Gesamtnutzen gleich der Summe der quellenspezifischen Teilnutzen ist“ und „dass eine Pegelminderung bei hohen Pegeln höher bewertet werden als dieselbe Pegelminderung bei niedrigen Pegeln“ [90].

Der Index wird für eine Teilquelle j (Straße, Schiene, ...) an einem Punkt i aus dem jeweiligen Teilpegel

¹² EBI: energetischer Belastungs-Index WEBI: wirkungsbezogener energetischer Belastungs-Index

$L_{i,j}$ und der Anzahl der betroffenen Bewohner am Punkt N_i ermittelt [90]:

$$EBI_j = \sum_{i=1}^I N_i * 10^{0,1 * L_{i,j}}$$

Index „WEBI“

Als Erweiterung des EBI kann mit Werkzeugen der VDI 3722-2 ein Wirkungsbezug hergestellt werden (wirkungsbezogener energetischer Belastungs-Index, „WEBI“). Hierzu wird auf den jeweiligen renormierten Ersatzpegel (z. B. für stark belastete („highly annoyed“, %HA) zurückgegriffen.

Der Index wird für eine Teilquelle j (Straße, Schiene, ...) an einem Punkt i ermittelt [90] aus dem jeweiligen renormierten Ersatz-Teilpegel $L_{x,i,j}^*$ und der Anzahl der betroffenen Bewohner am Punkt N_i :

$$WEBI_j = \sum_{i=1}^I N_i * 10^{0,1 * L_{x,i,j}^{*\%HA}}$$

Nutzenbewertung und Kostenverteilung

Der Nutzen einer Maßnahme berechnet sich nach dem UBA-Konzept aus der Differenz des Indexwertes ohne und mit Umsetzung der Maßnahme:

$$\text{Nutzen} = \text{Index}_{\text{vorher}} - \text{Index}_{\text{nachher}}$$

$$NKV = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Kosten}}$$

Ein Nutzen-Kostenverhältnis lässt sich ebenfalls berechnen, um eine Priorisierung der Maßnahmen untereinander zu erreichen (siehe Tabelle 9).

Die Verteilung der Kosten auf verschiedene Quellen bzw. Baulastträger erfolgt anhand des spezifischen Nutzens für eine Quelle. Somit werden nach dem Vorschlag des UBA nicht alle Kosten auf alle Verursacher verteilt. Vielmehr werden die Kosten dem jeweiligen „Nutzenbezieher“ zugetragen (Schiennestegdämpfer: Bahn, Straßenoberfläche: Kommune, Lärmschutzwand: geteilt). Ein Beispiel ist in Bild 52 dargestellt.

Der Fokus dieses Kostenverteilungskonzeptes liegt daher auf der Bewertung einzelner Maßnahmen hin-

sichtlich ihres Nutzen-Kosten-Verhältnis untereinander und der Findung der optimalen Maßnahme. Sofern andere Baulastträger von einer Maßnahme profitieren (etwa durch Abschirmung durch eine Lärmschutzwand an einer anderen Quelle), werden diese im Verhältnis ihres Nutzens an den Kosten beteiligt.

3.3.3.4 Vorschläge aus dem UBA-Vorhaben Modell zur Gesamtlärbewertung

In Ergänzung zu den bestehenden, hier bereits vorgestellten Methoden zur Kostenverteilung werden im Rahmen des UBA-Modells zur Gesamtlärbewertung [9] zwei weitere Methoden entwickelt.

Die erste Methode, genannt „Anteil Lärmpegelminderung“, bewertet den Anteil einer Quelle anhand der Lärminderung an dieser bezogen auf die Summe der Lärminderungen an allen Quellen. Die Methode ist verwandt mit der des UBA (siehe Kapitel 3.3.3.3), bei der jedoch der Anteil an der Gesamtlärminderung berechnet wird. Die Höhe der Gesamtlärmbelastung wird nicht berücksichtigt. Die Berechnung der Kosten lässt sich nach [9] wie folgt durchführen:

$$\text{Kosten}_A = \frac{\sum_i 10^{0,1 * (L_{A,i,\text{vorh.}} - L_{A,i,\text{nachh.}})}}{\sum_i 10^{0,1 * (L_{A,i,\text{vorh.}} - L_{A,i,\text{nachh.}})} + \sum_i 10^{0,1 * (L_{B,i,\text{vorh.}} - L_{B,i,\text{nachh.}})}} * \text{Kosten}_{\text{Ges}}$$

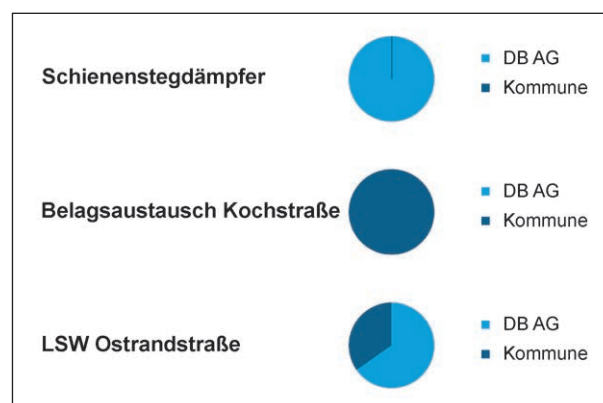


Bild 52: Mögliche Kostenverteilung drei unterschiedlicher Maßnahmen [89]

Maßnahme	Kosten in T€	Nutzen x 10 ⁻⁶	NKV	Prio
Belagserneuerung Kochstraße	1.300	220	169	3
LSW Ostrandstraße	400	85	213	2
Schiennestegdämpfer	80	28	350	1
...

Tab. 9: Exemplarische Nutzen-Kosten-Bewertung [90]

Die zweite vorgeschlagene Methode, genannt „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“, berücksichtigt „eine Gewichtung anhand des Anteils einer Quelle an der Gesamtlärmbelastung“ [9] anhand der folgenden Gleichung:

$$Kosten_A = \frac{\sum_i g_{Ai} * 10^{0,1 * (L_{A,i,vorh.} - L_{A,i,nachh.})}}{\sum_i g_{Ai} * 10^{0,1 * (L_{A,i,vorh.} - L_{A,i,nachh.})} + \sum_i g_{Bi} * 10^{0,1 * (L_{B,i,vorh.} - L_{B,i,nachh.})}} * Kosten_{Ges}$$

mit

$$\text{für } \Delta L \leq 10: g = -\frac{1}{10} * \Delta L_{vorher} + 1$$

$$\text{für } \Delta L > 10: g = 0$$

Die Funktion der Gewichtung wurde wie folgt gewählt [9]:

- Wenn der Beurteilungspegel einer Quelle dem Gesamtlärmpegel entspricht, trägt diese die vollen Kosten.
- Wenn der Beurteilungspegel einer Quelle mehr als 10 dB unter dem Gesamtlärmpegel liegt, wird diese nicht berücksichtigt.
- Dazwischen wird linear interpoliert.

3.3.4 Zwischenfazit

Zur Ermittlung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses existiert eine Vielzahl von Methoden, die weitestgehend in vergleichbaren Verfahren praktisch angewandt werden. Die Priorisierung kann sich in Abhängigkeit von der gewählten Methode unterscheiden, da jede Methode andere Aspekte in den Vordergrund stellt. Hierzu zählt insbesondere, ob und in welchem Umfang hohe Pegel oder hohe Schwellenwertüberschreitungen stärker gewichtet werden als niedrigere.

Im Rahmen der exemplarischen Anwendung eines zu entwickelnden Verfahrens (Kapitel 6) wurden ausgewählte Methoden zum Nutzen-Kosten-Verhältnis eingesetzt, um die Anwendbarkeit zu demonstrieren.

Zur Kostenverteilung gibt es ebenfalls mehrere Alternativen, bis auf die VLärmSchR97 haben die vorgestellten Methoden noch keinen Eingang in die Regelwerke gefunden. Im UBA-Vorhaben zu Gesamtlärm [9] werden rechtspolitische Vorschläge genannt, um eine „Lastengerechtigkeit“ zu erreichen. Vor einer verbindlichen Anwendung dieser Verfahren ist somit ggf. erst eine rechtliche Änderung notwendig.

3.4 Maßnahmen zum Lärmschutz

Für die betrachteten Emittenten (Straßen-, Schienen-, Schiffs- und Flugverkehr) werden Lärmschutzmaßnahmen identifiziert, die in den folgenden Untersuchungen berücksichtigt werden sollen. Bei den Maßnahmen wird im Allgemeinen zwischen aktivem und passivem Lärmschutz unterschieden. Aktiver Lärmschutz bezeichnet dabei Maßnahmen an der Quelle, hierzu gehören sowohl abschirmende Maßnahmen wie auch Emissionsminderungen. Passiver Lärmschutz setzt am Gebäude durch einen besseren baulichen Schallschutz (Fenster, Lüfter, ...) an. Allgemein bestehen somit drei Ansatzpunkte für die Lärminderung:

- Emission

Maßnahmen an der Quelle zielen darauf ab, die abgestrahlte Schallleistung insgesamt zu reduzieren. Hierzu ist in der Regel ein Eingriff in das Fahrzeug oder den Fahrweg notwendig, aber auch ein Eingriff in andere emissionsbestimmende Parameter (Verkehrsmenge, Geschwindigkeit an Straßen etc.) ist möglich.

- Transmission

Maßnahmen, die auf dem Ausbreitungsweg ansetzen, sorgen insbesondere durch Abschirmung des Schalls für eine Lärminderung. Eine vollständige Abschirmung ist in der Regel nicht zu erreichen, auch hängt die Wirkung stark von der geometrischen Situation ab. Trotzdem bieten diese Maßnahmen vergleichsweise hohe Minderungspotenziale, die aber lediglich lokal wirken.

- Immission

Zu den Maßnahmen, die erst am Immissionsort ansetzen (etwa passiver Lärmschutz) zählen Maßnahmen wie Schallschutzfenster und -lüftungen, die für eine Lärminderung im Innenbereich betroffener Gebäude sorgen.

Ein emissionsseitiger Lärmschutz am Fahrzeug sorgt somit nicht nur für die lokale Lärminderung, sondern auch für eine weitreichende Minderung außerhalb eines lokalen Bereichs am gesamten Verkehrsweg. Emissionsseitige Maßnahmen am Fahrweg wirken ebenfalls in alle Richtungen, in Abhängigkeit von der Entfernung zur Maßnahme nimmt die Wirkung jedoch ab.

Eine abschirmende Maßnahme wirkt in der Regel lokal, kann mit entsprechender Dimensionierung

(etwa durch Zuschläge bei Länge und Höhe) auch im weiteren Wohnumfeld eine noch relevante Wirkung entfalten.

Passive Lärmschutzmaßnahmen stellen beim Lärmschutz die ultima ratio dar. Sie wirken ausschließlich am Schutzobjekt. Außenwohnbereiche werden von ihnen jedoch nicht geschützt. In bestimmten Fällen können dies die einzig möglichen Maßnahmen sein. Sie wurden im Rahmen dieses Projektes jedoch nicht weiter betrachtet.

3.4.1 Maßnahmen des Landverkehrs (Straße/Schiene)

Die Geräuscheinwirkung durch den erdgebundenen Verkehr kann sowohl vermindert werden, indem die Emissionen direkt an der Quelle reduziert werden, als auch durch eine Unterbrechung des direkten Schallwegs bzw. eine Verlängerung des Schallausbreitungswegs. Eine effiziente Minderung der Lärmbelastung kann ein umfassendes Paket einzelner aufeinander abgestimmter Maßnahmen bewirken, die u. a. auf die Abschirmung des Schalles (Lärmschutzwände, Lärmschutzwälle usw.) und die Reduktion der Emissionen durch z. B. verkehrliche Maßnahmen oder Maßnahmen am Emissionsort wie z. B. lärmindernde Fahrbahnbeläge oder ein besonders überwachtes Gleis abzielen. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit werden diese Maßnahmen als „Maßnahmen am Emissionsort“ zusammengefasst.

Dieses Kapitel widmet sich der Erläuterung der im Rahmen dieses Projektes als relevant identifizierten Lärminderungsmaßnahmen für den erdgebundenen Verkehr.

3.4.1.1 Abschirmende Maßnahmen des Landverkehrs

Schallabschirmende Maßnahmen (z. B. Wände oder Wälle) dienen dem lokalen Lärmschutz. Wälle erzeugen in Gegensatz zu den Wänden einen höheren Flächenverbrauch, können jedoch durch Begrünung harmonischer in die Landschaft bzw. ins Ortsbild eingefügt werden. Wand-Wall-Kombinationen stellen einen oft brauchbaren Kompromiss dar.

Die Abschirmungswirkung hängt grundsätzlich von der wirksamen Abschirmungshöhe und damit auch vom Abstand des Emissionsorts beziehungsweise Immissionsortes zur Abschirmeinrichtung ab.

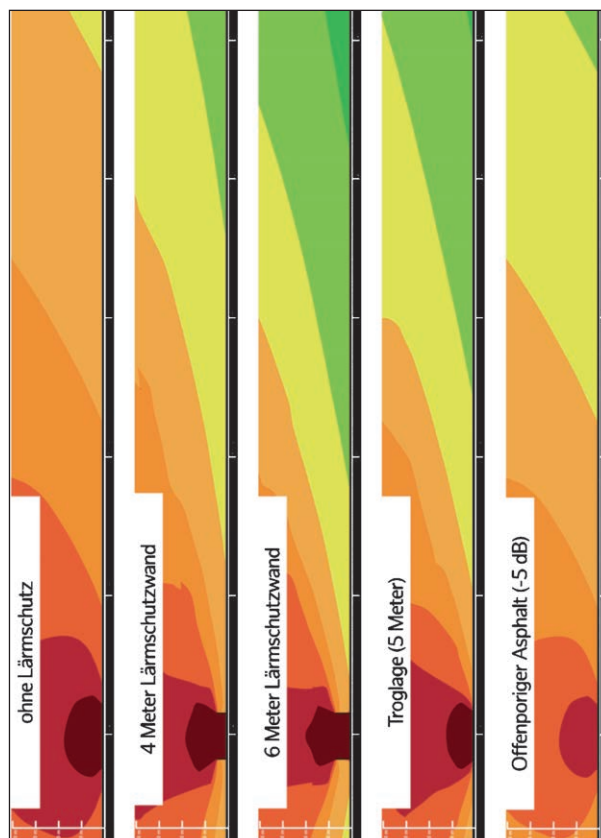


Bild 53: Exemplarische Wirkung von Lärmschutzmaßnahmen – Querschnitt (Ausdehnung: vertikal ca. 250 m, horizontal ca. 40 m)

In Bild 53 ist die Wirkung verschiedener Maßnahmen in einem Schnitt dargestellt. Die Höhe der Berechnung beträgt bis zu 40 m über Gelände, die horizontale Ausdehnung rund 250 m. Die Farbstufen geben jeweils 5 dB(A)-Sprünge wieder. Die Berechnungen erfolgten für Straßenverkehrslärm nach RLS-90.

An Straßen lassen sich innerorts abschirmende Maßnahmen aufgrund des Platzbedarfes und aus städtebaulichen Gründen selten realisieren. Auch an Bahnstrecken haben Lärmschutzwände innerorts oft eine städtebaulich zerschneidende Wirkung, wobei diese aufgrund der bereits bestehenden Trennwirkung einer Eisenbahnstrecke meist eher optischer Natur ist.

Bereits kurze Unterbrechungen einer sonst durchgängigen Abschirmung (etwa in Kreuzungsbereichen) bewirken eine deutlich verminderte Wirkung.

Lärmschutzwände

Die notwendige Höhe der Lärmschutzwände ergibt sich wesentlich aus der zu erzielenden Lärminderung. Für den Lärmschutz im Schienenverkehr wer-

den in der Regel zwei bis sechs Meter hohe Lärmschutzwände errichtet.

Niedrige Lärmschutzwände kommen insbesondere an Schienenwegen zum Einsatz, weil sie hier effektiv auf das in geringer Höhe befindliche Rad-Schiene-Geräusch einwirken. Sie werden im Gegensatz zu den herkömmlichen Schallschutzwänden wesentlich näher an die Schienen gebaut. Als Wirkung kann trotz niedriger Höhe eine Lärmreduktion von bis zu 4 dB(A) [79] erzielt werden. Die genaue Pegelminderung und der mögliche Einsatz vor Ort ist immer im Rahmen einer detaillierten akustischen und konstruktiven Planung zu ermitteln.

Die Wirkung einer Lärmschutzwand kann nur schwer pauschal beschrieben werden. In der Literatur werden für den Schienenverkehr als Beispiel für eine 6 m hohe Lärmschutzwand im direkt abgeschirmten Bereich dahinter Pegelminderungen von ca. 10 dB(A) genannt [79].

Durch Reflexion kann sich der Pegel an der der Lärmschutzwand gegenüberliegenden Seite erhöhen, auch können sie für den Straßenverkehr Zuschläge für Mehrfachreflexionen bedingen [91]. Bei dem Einsatz von hochabsorbierenden Lärmschutzwänden an Schienenwegen treten keine Reflexionen für die gegenüberliegenden Bebauung auf.

In Bild 53 wird exemplarisch die Schallausbreitung u. a. verschiedener Wandhöhen im Schnitt grafisch dargestellt. In den in Kapitel 3.4.1.2 beschriebenen Berechnungen sind pauschale Minderungen verschiedener Wandstellungen bei parallelen Wänden ermittelt worden.

Lärmschutzwälle

Im Vergleich zu Wänden ist bei Lärmschutzwällen die Entfernung zwischen wirksamer Schirmkante und Lärmquelle infolge des erforderlichen Böschungswinkels größer. Deshalb erreichen Lärmschutzwälle eine niedrigere Pegelminderung als Wände gleicher Höhe.

Lärmschutzwälle vermindern eine durch Reflexion bedingte Pegelerhöhung aufgrund ihrer schallabsorbierenden Eigenschaften. Vor allem bepflanzte Wälle verfügen über einen hohen Absorptionsgrad.

Lärmschutzwälle haben gegenüber Wänden einen höheren Flächenbedarf. Bei Erdwällen ist in der Regel die Breite der Wallsohle mindesten drei Mal so groß wie die Wallhöhe [92].

Aus städtebaulicher Sicht lassen sich Lärmschutzwälle durch Begrünung häufig besser in die Umgebung einfügen. Generell kommen sie aber eher bei Neuplanung anbaufreier Straßen in der städtischen Peripherie zum Einsatz.

Beim Neu- bzw. Ausbau von Verkehrswegen können Erdwälle oft günstiger als Lärmschutzwände sein, wenn die notwendige Erdmasse für die Herstellung des Walls aus dem anfallenden Erdaushub gewonnen werden kann [92].

Trog/Einschnitt

Schallimmissionen können durch die Einbettung einer abgesenkten Fahrbahn in einen Trog oder einen Einschnitt verringert werden. Dabei beruht die Lärminderung auf der Abschirmung, die durch die Trogkante bzw. Böschungschulter hervorgerufen wird. Zur Erreichung eines optimalen Lärmschutzes ist eine Böschung möglichst steil auszuführen.

Durch die Straßenführung in Troglage können Mehrfachreflexionen entstehen. Um eine dadurch bedingte Pegelerhöhung zu vermeiden, kann für die Trogwand eine schallabsorbierende Verkleidung vorgesehen werden [93].

In Bild 53 wird exemplarisch u. a. die Schallausbreitung bei einem Trog grafisch dargestellt.

Untertunnelung – Einhausung

Die Verlegung der Straße in einen Tunnel oder eine Einhausung führt zu einer fast vollständigen Abschirmung des Lärms. An den Endbereichen sinkt die Minderungswirkung wegen des Tunnelmundeffekts.

Untertunnelungen und Einhausungen sind mit sehr hohen baulichen und finanziellen Aufwänden verbunden. Es ist daher zu prüfen, ob die mindernde Wirkung (Luft/Lärm) und die städtebauliche Nutzung der dadurch gewonnenen Flächen (bei Untertunnelung: neben und über dem Tunnel) die hohen Betriebs- und Baukosten kompensieren können.

Alternativ zu einer vollständig geschlossenen Einhausung können bei entsprechender Lage der schutzbedürftigen Nutzungen auch einseitig offene Lösungen (Galerie) einen guten Kompromiss darstellen. Die abschirmende Wirkung ist zwar geringer als bei einer vollständig geschlossenen Lösung, kann aber deutlich über der einer Wand (bei herkömmlichen Höhen) liegen.

3.4.1.2 Lärmschutzmaßnahmen bei parallelen Quellen

Im Rahmen des Projekts ergaben sich Hinweise auf verschiedene Situationen, in der eine parallele Lage von Straße und Schienenweg vorliegt (siehe Kapitel 2.2.3). Dabei wurden auch Situationen mit unterschiedlichen Höhenniveaus identifiziert: Straßen oder Schienenwege in unterschiedlicher Höhenlage.

Insbesondere bei nah beieinanderliegenden Quellen ist die Lage der abschirmenden Maßnahme entscheidend für die Wirkung auf den Gesamtpegel. Bei einer Lage mittig zwischen zwei Quellen kann die abschirmende Wirkung nur auf eine Quelle wirken, dafür ergeben sich Vorteile durch die nähere Lage an der abgeschirmten Quelle.

Für die Beurteilung von Lärmschutzmaßnahmen soll in einer theoretischen Betrachtung die gegenseitige Beeinflussung bei abschirmenden Maßnahmen untersucht werden.

Um verschiedene Situationen zu simulieren, wurde ein vereinfachtes Modell mit zwei parallelen Quellen (exemplarisch Straße und Schiene) in unterschiedlichen Höhenniveaus erstellt. Es wurden systematisch Berechnungen mit abschirmenden Hindernissen (in diesem Fall Wände) erstellt. Beim Einsatz von Wällen statt Wänden ergäben sich größere Abstände zwischen Quelle und abschirmender Kante. Dadurch sind in der Regel geringere Pegelminderungen zu erwarten.

Die Wände wurden in vier Höhen berücksichtigt: 4, 3, 2 und 1 m. Die Höhe bezieht sich jeweils auf Straßenoberfläche bzw. Schienoberkante. Ergänzend wurde eine Variante mit niedrigen Lärmschutzwänden (~ 0,8 m) in direkter Nähe (< 2 m) zur Gleisachse berücksichtigt, womit die abschirmende Wirkung der Quellen in niedrigen Höhen in der Regel besser ausfällt. Diese Variante wurde nur für die Schiene (beidseitig) berechnet. (Entsprechend der Schall03 wurde die effektive Wandhöhe vom Berechnungsprogramm um 30 % vermindert).

Modellgrundlagen

Insgesamt wurden für die unterschiedlichen Höhenniveaus der Quellen sowie der Immissionsorte 70 Berechnungsmodelle erstellt. Es wechseln sich dabei Straße und Schiene in Hoch- oder Tieflage ab bzw. treten gemeinsam auf. Bestimmte Situationen, bei denen keine (oder nur sehr geringe) Abweichun-

gen zu anderen Situationen zu erwarten sind, wurden nicht betrachtet. So ist etwa für den Fall beider Quellen in Hochlage sowie den Immissionsorten in Hochlage nur eine geringe Abweichung zur gleichen Höhenlage (ebenerdig) zu erwarten.

Die unterschiedlichen Modelle sind in den Abbildungen jeweils als grob maßstäbliche Schnitte dargestellt. Die Quellen wurden als lange, gerade Quellen modelliert, ebenso sind die Lärmschutzmaßnahmen entlang der gesamten Quellenlänge dimensioniert. Es wird somit einzig die Wirkung der Maßnahme untersucht. Die Straßen- und Schienenlärmquellen wurden von den Emissionen so gewählt, dass in der Ausgangssituation mit ebenem Gelände ohne Lärmschutz beide Schallquellen im Mittel über alle Immissionsorte jeweils in etwa den selben Anteil zum Gesamtlärm beitragen.

Es wurden Immissionsorte in jeweils drei Abständen (30, 50 und 100 m) von der Fahrbahn bzw. Schienenstrecke in drei exemplarischen Höhen (EG in 2,5 m, 1. OG in 5,3 m, 2. OG in 8,1 m) gesetzt. Aufgrund der Erkenntnisse, die mit einer einheitlichen Wahl der Wände (gleiche Höhe) gewonnen wurden, wird auf eine Maßnahmenkombination verzichtet.

Ergebnisse und Bewertung

Durch die Berechnungen ergeben sich insgesamt 70 zu betrachtende Varianten. Aufgrund der Vielzahl der Ergebnisse sollen nur ausgewählte Beispiele aufgegriffen werden. In den Abbildungen sind stets die sich ergebenden Pegeldifferenzen zur Ausbreitungssituation ohne Lärmschutzmaßnahmen dargestellt. Die Abbildungen sind (bis auf die Abstände der Immissionsorte von den Quellen) grob maßstäblich.

Bei ebenerdiger Lage der Verkehrswege kann festgestellt werden, dass Lärmschutzwände mit geringer Höhe (1 m) keine relevante Wirkung haben (Bild 54). Sofern ein Verkehrsweg jedoch in Dammlage liegt, kann eine solche Abschirmung eine relevante Wirkung haben (Bild 55, 56 und 57). Auch können schienennahe niedrige Lärmschutzwände trotz geringer Höhe eine relevante Wirkung entfalten (Bild 58). Auch bei einer Troglage können bereits niedrige Lärmschutzwände zu einer merkbaren Pegelminderung führen (Bild 59).

Eine Abschirmung kann für den Straßenverkehr trotz hochabsorbierender Ausführung auch zu ei-

ner Pegelerhöhung auf den gegenüberliegenden Immissionsorten führen (insbesondere Bild 60). Hier ergeben sich geringe Pegelerhöhungen z. B. in der ersten und vierten Variante (4 m Lärmschutz an Straße bzw. Schiene) an den nicht direkt abgeschirmten Immissionsorten. In bestimmten Fällen können auch Lärmschutzwände zwischen zwei parallelen Quellen zu einer Pegelerhöhung führen.

Für Wände zwischen zwei Quellen kann festgestellt werden, dass durch die jeweilige teilweise Abschirmung einer Quelle (Bild 60, Variante 2 und 3: linke Immissionsorte Abschirmung der Schiene, rechte Immissionsorte Abschirmung der Straße) die Immissionen leicht abnehmen. Im Vergleich hierzu ergeben sich bei Stellung einer Wand an der Außenseite (Bild 60, Variante 1 und 4) jeweils höhere Abnahmen für eine Seite, auf der anderen kommt es durch Reflexionen in der Regel zu sehr geringen Zunahmen.

Insgesamt zeigt sich, dass die Wirkung möglicher Abschirmungen stark von der Lage der Quellen zueinander abhängt. Ergänzend zu den in Kapitel 2.1.1 betrachteten Einflussgrößen kommt auch die

unterschiedliche Höhenlage hinzu. Eine verallgemeinernde Aussage zur Wirksamkeit von Maßnahmen auf beide Verkehrswege ist schwierig. Insgesamt ist zu erwarten, dass sich das Einsatzgebiet für gemeinsame Lärmschutzmaßnahmen durch unterschiedliche Höhenlage der Verkehrswege weiter reduziert. Gleichzeitig bieten sich auch Potenziale zur Ausnutzung von z. B. Dammlagen (vgl. Bild 54 links mit Bild 55 links: jeweils mit Einsatz einer 1 m Lärmschutzwand).

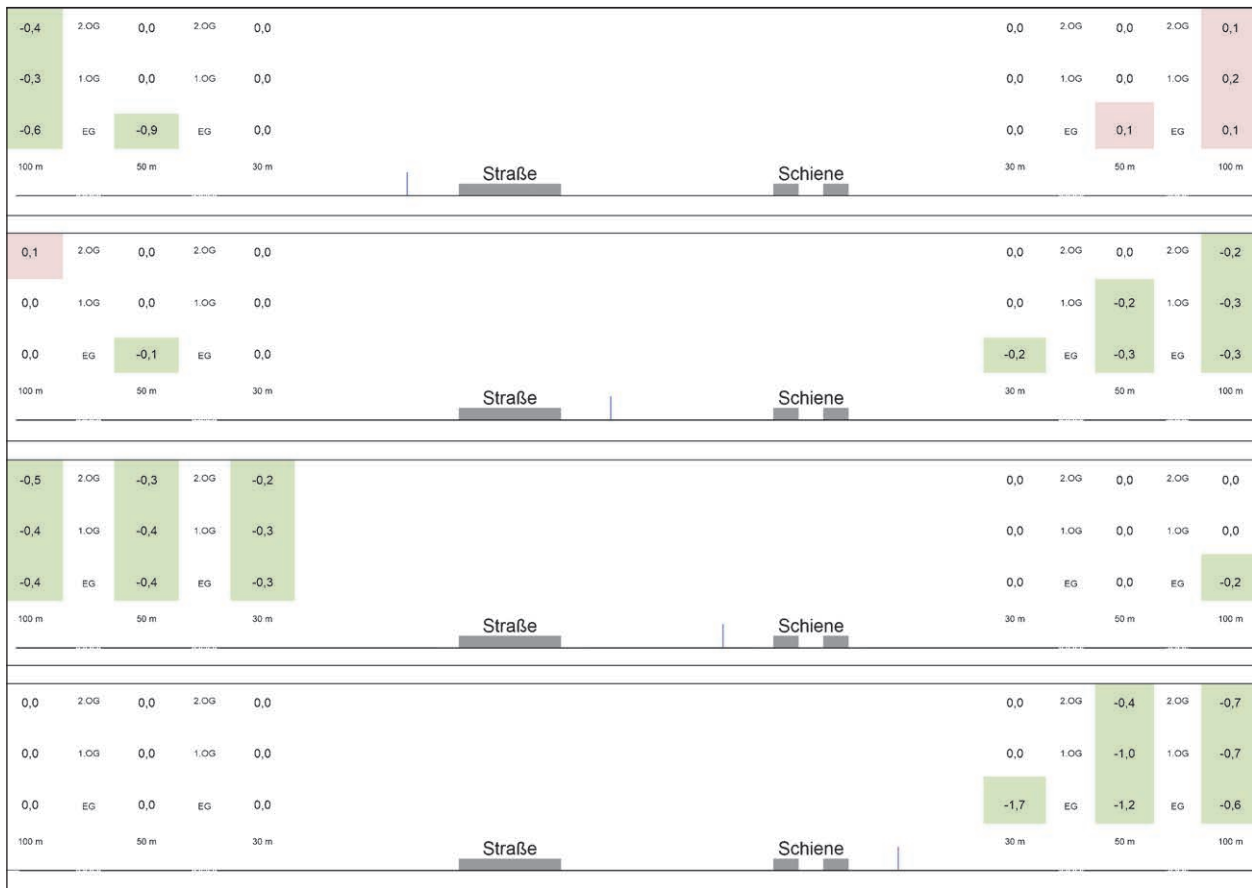


Bild 54: Parallelmodell – Schnitt – beide ebenerdig – 1 m LSW, Grün: Pegelabnahme, Rot: (geringe) Pegelzunahme

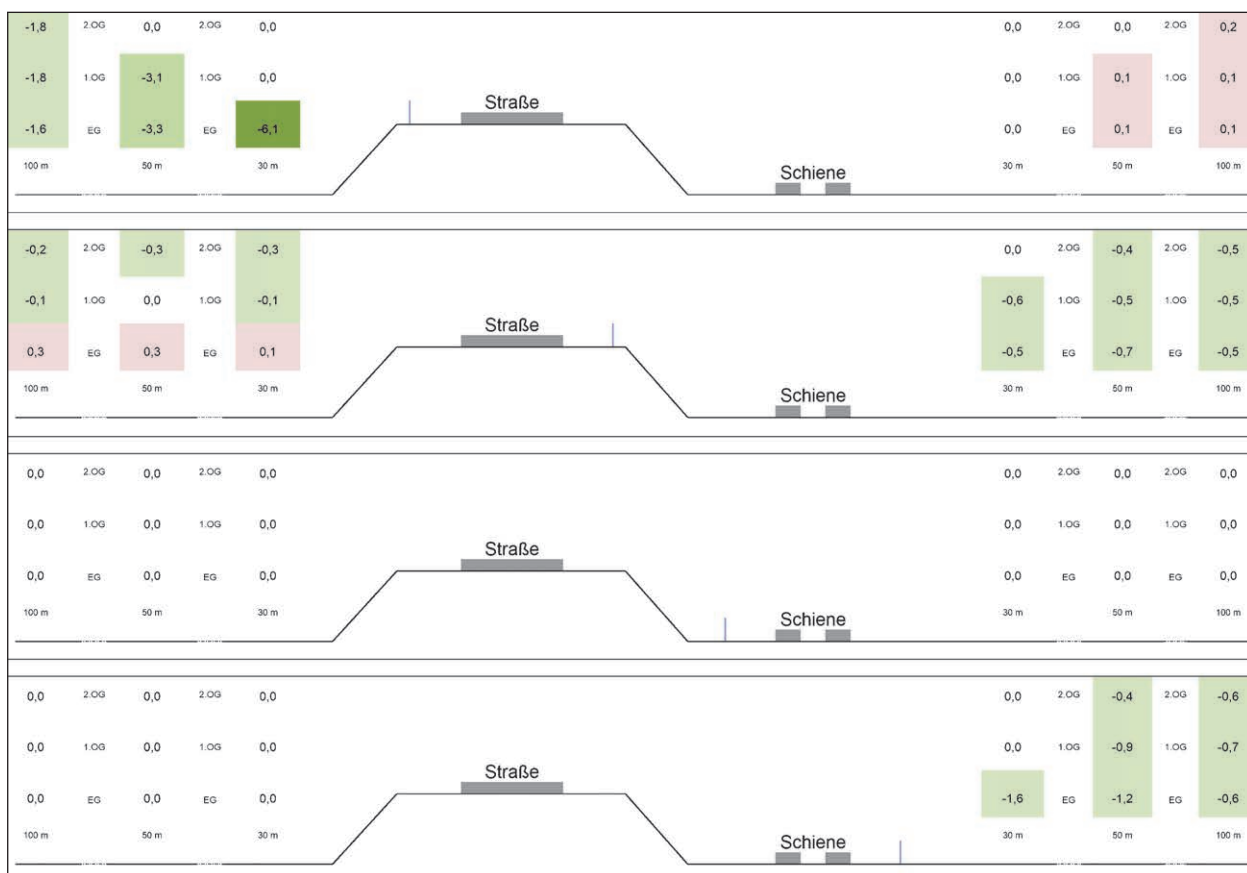


Bild 55: Parallelmodell – Schnitt – Straße auf Damm – 1 m LSW, Grün: Pegelabnahme, Rot: (geringe) Pegelzunahme

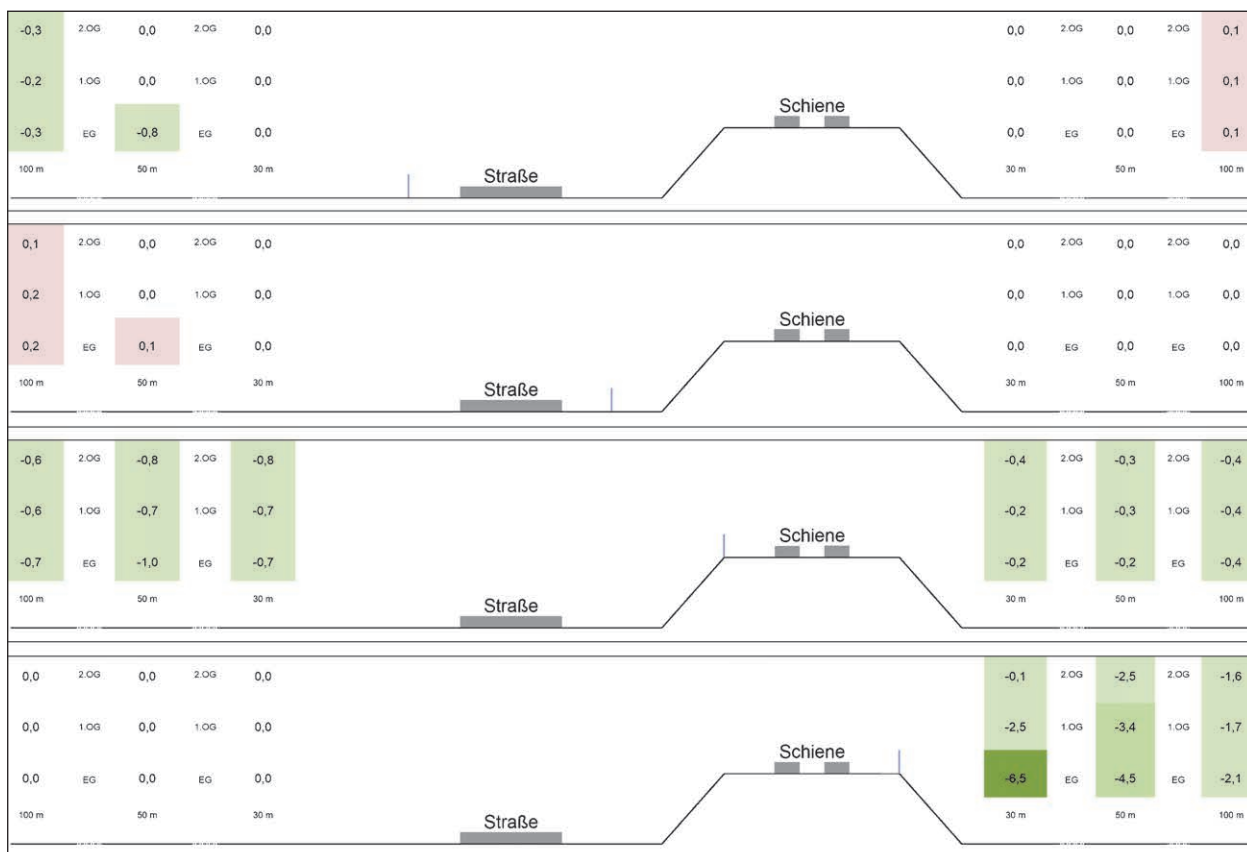


Bild 56: Parallelmodell – Schnitt – Schiene auf Damm – 1 m LSW, Grün: Pegelabnahme, Rot: (geringe) Pegelzunahme

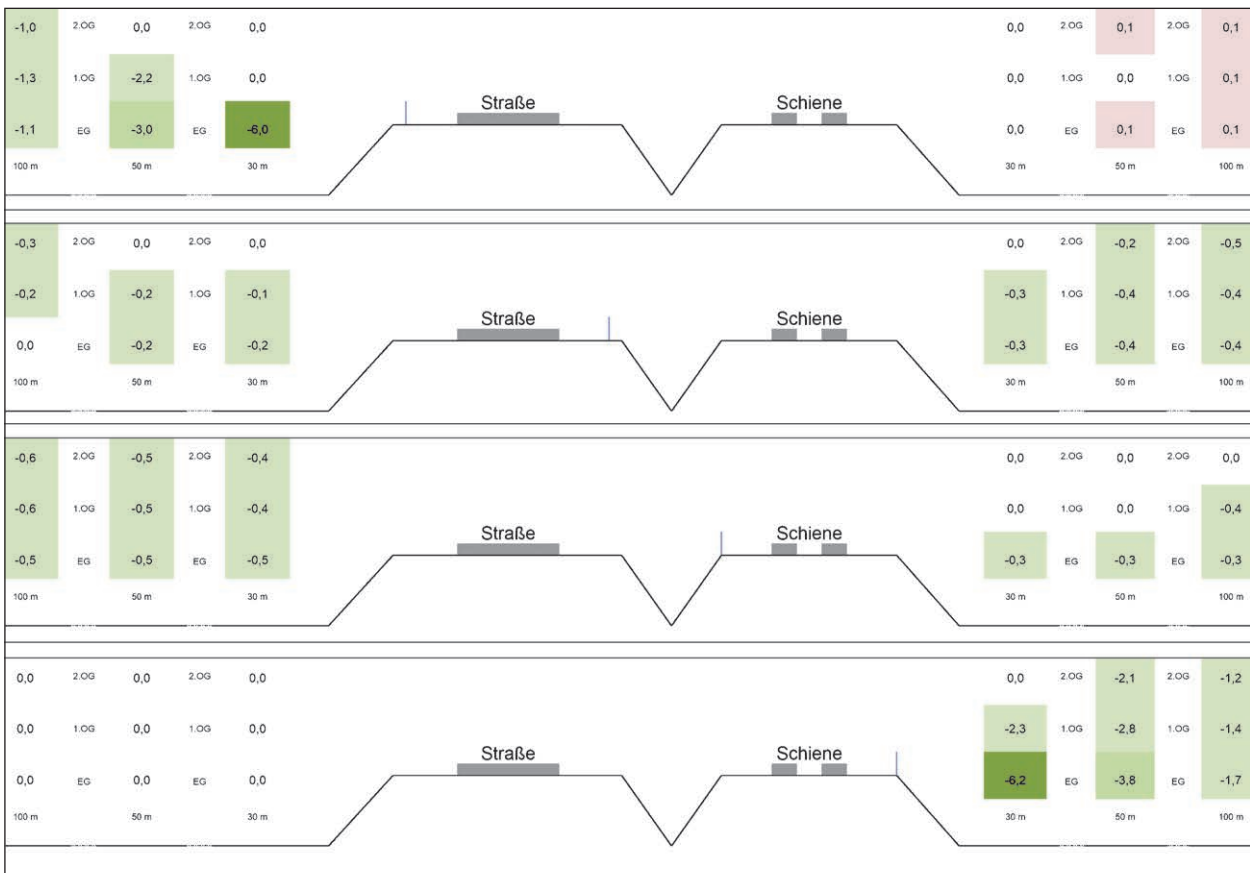


Bild 57: Parallelmodell – Schnitt – beide in Hochlage – 1 m LSW, Grün: Pegelabnahme, Rot: (geringe) Pegelzunahme

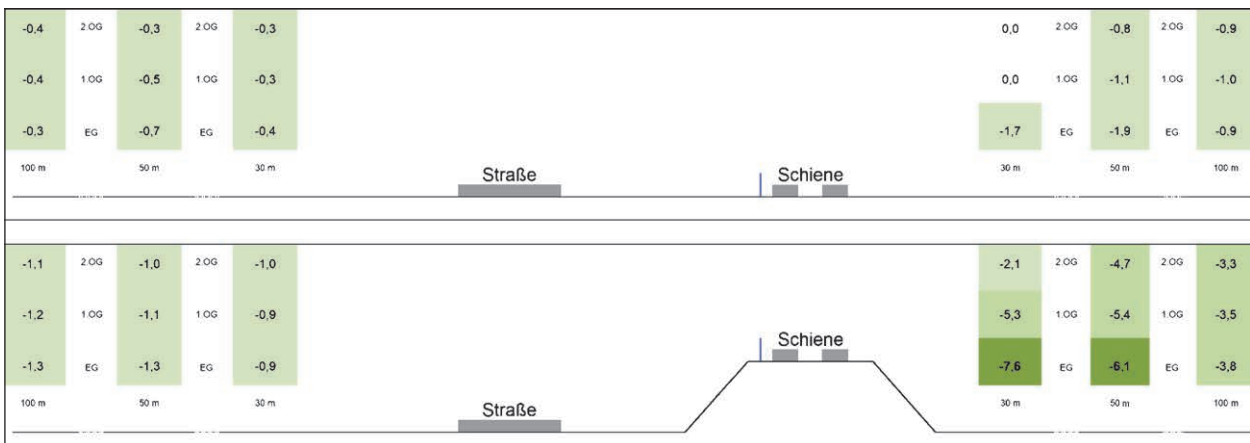


Bild 58: Parallelmodell – Schnitt – 1 m LSW in Schienennähe, Grün: Pegelabnahme, Rot: (geringe) Pegelzunahme

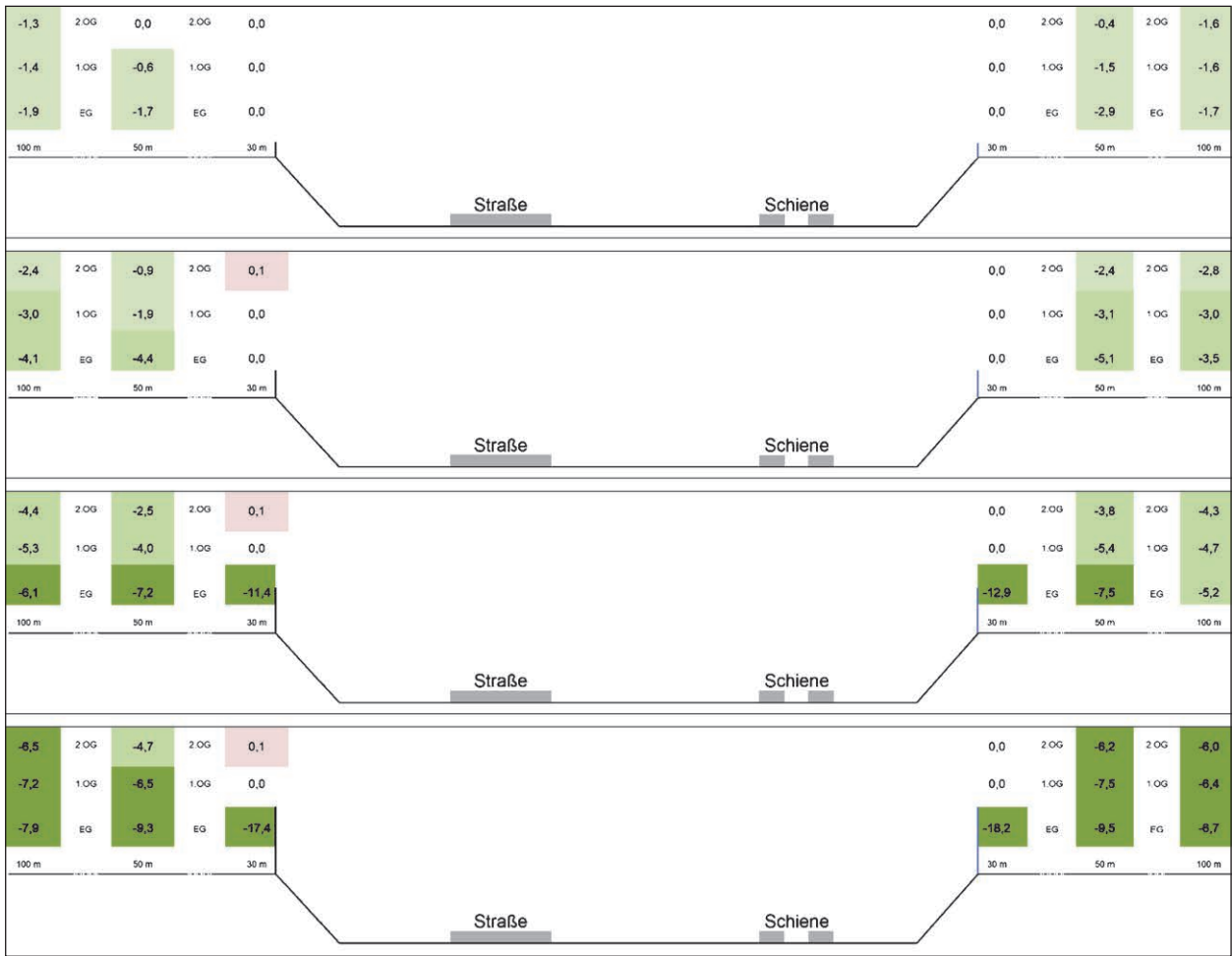


Bild 59: Parallelmodell – Schnitt – beide in Troglage – 1-4 m LSW, Grün: Pegelabnahme, Rot: (geringe) Pegelzunahme

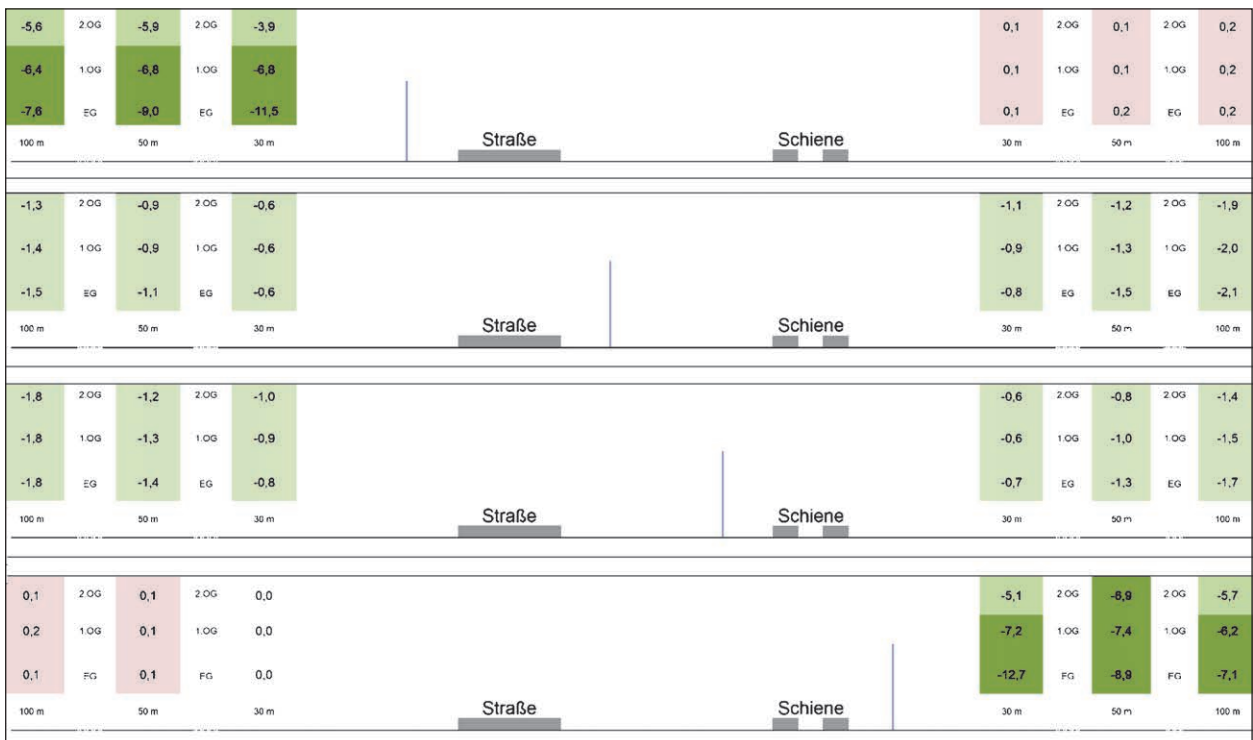


Bild 60: Parallelmodell – Schnitt – beide ebenerdig – 4 m LSW, Grün: Pegelabnahme, Rot: (geringe) Pegelzunahme

3.4.1.3 Lage der Quellen/Trassenwahl

Lage der Trasse

Durch eine möglichst weiträumige Umfahrung können lärmempfindliche Bebauungen geschützt werden, indem die Entfernung zur Lärmquelle vergrößert wird. Als Richtwert für die Minderung bei einer Verdoppelung des Abstands zwischen Immissionsort und einer Lärmquelle (Linie) gelten ca. 4 dB(A) [94,7].

Die Verlagerung innerörtlichen Durchgangsverkehrs auf Umgehungsstraßen kann zudem zu einer Lärmreduzierung im innerörtlichen Bereich führen. Für die Prognostizierung der erzielbaren Lärmreduzierung durch eine Umgehungsstraße ist im Rahmen der Planung eine detaillierte Untersuchung des Ziel-, Quell- und Durchgangsverkehrs durchzuführen [92].

Bündelung von Quellen/Verkehrsverlagerung

Die energetische Addition zweier pegelgleicher Schallquellen (z. B. zwei Autos) ergibt eine Erhöhung um 3 dB(A). So erhöht sich bei einer Verdoppelung der Verkehrsmenge der Lärmpegel um 3 dB(A). Umgekehrt mindert er sich um 3 dB(A) bei einer Halbierung der Verkehrsmenge. Bei starken Unterschieden kann es hinsichtlich der Pegel jedoch auch zu einer Verdeckung einer Quelle kommen, einzig die dominierende Quelle ist dann wahrnehmbar und trägt relevant zum Gesamtpegel bei.

In diesem Zusammenhang kann eine Bündelung von Verkehrswegen (z. B. Eisenbahn-Neubaustrecke parallel zu bestehender Autobahntrasse) schalltechnisch sinnvoll sein. Dies ist insbesondere auch dann der Fall, wenn die Lärmreduzierungskonzeption für den neuen Verkehrsweg den vorhandenen mit einbezieht. Zudem wird durch die Bündelung von Verkehrswegen der Flächenverbrauch gemindert.

3.4.2 Emissionswirksame Maßnahmen des Straßenverkehrs

Im Straßenverkehr sind Motor und Antriebsstrang (Antriebsgeräusche) sowie Reifen und Fahrbahn (Rollgeräusche) die primären Lärmquellen. Neben den mess- und beschreibbaren Einflussfaktoren (Verkehrsaufkommen und -zusammensetzung, Fahrbahnbelag, Fahrzeugart usw.) ist das Fahrverhalten (Geschwindigkeit/Drehzahl/Verkehrsfluss) ein wesentlicher Faktor.

Im Folgenden werden nur Maßnahmen dargestellt, die im Rahmen eines lokalen Lärmschutzes steuerbar sind. Maßnahmen, die auf die Fahrzeuge selbst abzielen, sind auf der hier betrachteten lokalen Ebene nicht umsetzbar. Bei den genannten Maßnahmen ist zu beachten, ob diese im Rahmen des jeweils angewandten Verfahrens, z. B. Lärmsanierung bzw. Lärmvorsorge, umsetzbar sind.

Bei der Wirkung der Maßnahmen werden nicht nur die sich aus den Rechenvorschriften (RLS-90, CNOSSOS-EU/BUB) ergebenden Pegelminderungen genannt. Maßnahmen, die jedoch nach diesen Vorschriften rechnerisch nicht abzubilden sind, werden in der späteren Maßnahmenwahl (Kapitel 3.4.7) nicht berücksichtigt.

3.4.2.1 Verkehrliche Maßnahmen

Verschiedene verkehrliche Parameter beeinflussen die Emission des Straßenverkehrs. Eine Steuerung dieser Parameter beeinflusst jeweils auch den Verkehr selbst, es sind somit Wechselwirkungen zu erwarten.

Wie schon bei der Bündelung von Verkehrswegen dargestellt (siehe Kapitel 3.4.1.3), erhöht sich bei einer Verdoppelung der Verkehrsmenge der Lärmpegel um 3 dB(A) bei gleicher Zusammensetzung der Verkehrsmenge. Umgekehrt mindert er sich um 3 dB(A) bei einer Halbierung der Verkehrsmenge.

Neben der Verkehrsmenge bestimmt auch die Verkehrszusammensetzung (Lkw-Anteil, Motorrad-Anteil usw.) die Höhe der Emission. Durch eine großräumige Umleitung lässt sich der Lkw-Verkehr auch räumlich mindern, durch lokale Lkw-Fahrverbote wird hauptsächlich der Durchgang von Schwerverkehr durch schützenswerte Gebiete geregelt [95]. Die mögliche Lärmreduzierung hängt dabei u. a. von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit ab.

Eine Pegelminderung kann z. B. durch Verringerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit bewirkt werden [96]. Neben der Geschwindigkeit hat auch der Verkehrsfluss einen relevanten Einfluss auf die Geräuschemissionen im Straßenverkehr¹³. Bei einer Reduzierung der zulässigen Geschwindigkeit kann im Idealfall auch der Verkehrsfluss verbessert werden [97]. Maßnahmen zur Verlangsamung des

¹³ Zu beachten ist, dass die Wirkung des Verkehrsflusses in den RLS-90 sowie in der BUB nicht abgebildet wird.

Oberfläche	D_{StrO} in dB(A) (> 60 km/h)	Anmerkungen
Asphaltbeton $\leq 0/11$, Splittmastixasphalt (SMA) 0/8 und 0/11 ohne Absplittung	-2	
Offenporiger Asphalt (OPA) mit Hohlraumgehalt $\geq 15\%$ mit Kornaufbau 0/11	-4	Innerorts nur bedingt geeignet, Besonderheiten bei Entwässerung und Winterdienst
OPA mit Hohlraumgehalt $\geq 15\%$ mit Kornaufbau 0/8	-5	
Betonfahrbahn ohne Stahlbesenstrich mit Längsglätter und Längstexturierung mit Jutetuch	-2	
Betonfahrbahn mit Waschbetonoberfläche	-2	

Tab. 10: Lärmindernde Fahrbahnen nach RLS-90

Straßenverkehrs und zur Verbesserung des Verkehrsflusses zeichnen sich durch eine gute Wirkung aus, sind kostengünstig und meist kurzfristig umsetzbar [97].

3.4.2.2 Maßnahmen an der Fahrbahn

Die Oberflächenbeschaffenheit der Fahrbahn hat einen großen Einfluss auf die Reifen-Fahrbahn-Geräusche, wobei deren akustische Eigenschaften im Wesentlichen durch Hohlraumgehalt und Oberflächengestalt bestimmt werden. So ist bei der Auswahl des Fahrbahnbelags neben dem Verwendungszweck (zulässige Höchstgeschwindigkeit, Verkehrsaufkommen usw.), der lärmindernde Effekt zu beachten. Die RLS-90 berücksichtigen das Minderungspotenzial der in Tabelle 10 aufgelisteten Straßenoberflächen mittels Korrekturfaktoren (D_{StrO}).

Gegenüber dieser Auswahl von Bauweisen entstand in den letzten Jahren eine Vielzahl von Belägen, die teilweise auch deutlich höhere Pegelminderungen ermöglichen. Einen Überblick gibt eine Veröffentlichung des Umweltbundesamtes [98] aus dem Jahr 2014. Jedoch sind nicht alle vom UBA genannten Beläge offiziell eingeführt.

3.4.3 Emissionswirksame Maßnahmen des Schienenverkehrs

Der Schienenverkehrslärm setzt sich hauptsächlich aus Rollgeräuschen (Rad/Schiene), aerodynamischen Geräuschen und Antriebsgeräuschen zusammen, wobei das Rollgeräusch eine wesentliche Lärmquelle darstellt. Aus den Erläuterungen zur Schall03 [99] geht hervor, wie die einzelnen Schallquellenarten in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit zum längenbezogenen Schalleistungspegel beitragen (siehe Bild 61).

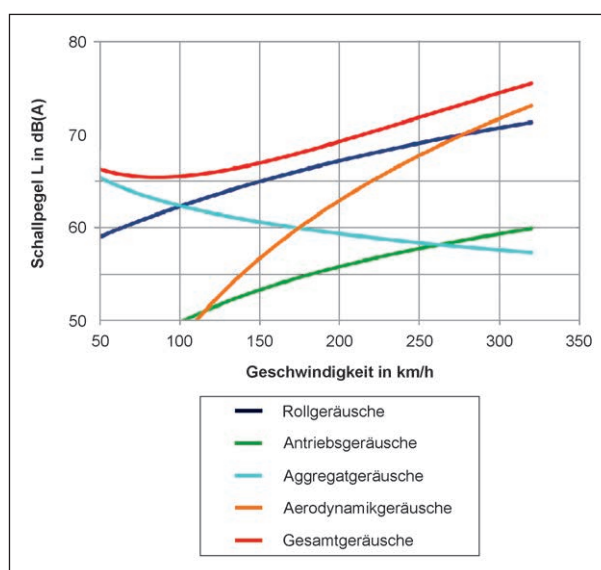


Bild 61: Längenbezogene Schalleistungspegel eines Hochgeschwindigkeits-(HGV)-Triebzuges in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit getrennt nach Schallquellenarten nach Tabelle 5 der Schall03 [99]

Neben der durch die Umrüstung auf leise Brems Technologien erzielten Lärminderung kann eine weitere lokale Lärminderung im Schienenverkehr durch aktive Maßnahmen sowohl an der Quelle (z. B. Besonders überwachtes Gleis (BüG)) als auch über den Ausbreitungsweg (z. B. Lärmschutzwand) erreicht werden. Besondere Bedeutung haben auch Maßnahmen, die auf eine Minderung der in engen Kurvenradien entstehenden Geräusche zielen.

Wie auch beim Straßenverkehr sollen im Folgenden nur Maßnahmen dargestellt werden, die im Rahmen eines lokalen Lärmschutzes steuerbar sind. Maßnahmen, die auf die Fahrzeuge abzielen sind vom Baulastträger nicht umsetzbar. In diesem Kapitel werden daher nur Maßnahmen dargestellt, die an der Infrastruktur ansetzen. Quelle sämtlicher Angaben ist ein UBA-Bericht zu Minderung des

Schienengüterverkehrslärms [79], in dem von den Autoren Einschätzungen zur Lärminderung getroffen werden. Erwähnt werden sowohl Maßnahmen, die nach dem geltenden Recht und der Schall03 2014 umsetzbar sind, als auch der aktuelle Stand der Forschung, der noch keinen Eingang in die Regelwerke gefunden hat.

Bei den Minderungen ist zu beachten, dass diese von der Verkehrszusammensetzung (Zugarten) und den Geschwindigkeiten abhängen. Die genannten Minderungen stellen deshalb die zu erwartende Größenordnung der Minderung dar, die im Einzelfall höher oder niedriger ausfallen kann und zudem frequenzabhängig ist.

3.4.3.1 Maßnahmen am Gleis

Besonders überwachtetes Gleis (BüG)

Beim BüG wird der akustische Zustand des Gleises mindestens einmal im Jahr mit einem Messwagen kontrolliert. Sofern die akustischen Eigenschaften einen zuvor bestimmten Wert nicht einhalten, wird ein akustisches Schleifen der Schienen durchgeführt. Hierdurch wird eine raue Oberfläche der Schiene geglättet, wodurch sich die Emissionen vermindern. Die Lärminderung beträgt dadurch ca. 3 dB(A), ist aber stark abhängig von der Strecke und dem Zugverkehr.

Schienenstegdämpfer

Ein Schienenstegdämpfer ist ein am Schienensteg angebrachtes Element, das die Schwingungen der Schienen dämpft. Es ist eine Lärminderung von bis zu 3 dB(A) zu erwarten.

Schienenstegabschirmung

Bei der Schienenstegabschirmung handelt es sich um Metallbleche, die direkt am Schienensteg befestigt werden, wodurch die Abstrahlung des Luftschalls gemindert wird. Hier ist, wie beim Schienenstegdämpfer, mit einer Lärminderung von ca. 3 dB(A) zu rechnen.

3.4.3.2 Maßnahmen an Kurven

Die Reibmodifikation hat, so wie die Schienenschmieranlage, den Zweck, Kurvengeräusche zu vermindern. Hierbei wird auf dem Schienenkopf ein Reibmodifikator eingebracht, der den sog. Stick-Slip-Effekt und dadurch das Schwingen der Räder

verringert. Durch ein Schmiermittel, das auf der Fahrfläche der Innenschienen in engen Kurven aufgetragen wird, kann akustisch relevant bei engen Gleisbögen das Kurvenkreischen bekämpft werden. Bei einem Kurvenradius von 180 m kann dadurch eine Verringerung der Geräuschemissionen um bis zu 3 dB(A) hervorgerufen werden.

3.4.3.3 Maßnahmen an Brücken

Da Brücken gegenüber der freien Strecke eine erhöhte Schallabstrahlung aufweisen, sollte bei Lärmkonflikten ein besonderes Augenmerk auf eine Lärmvermeidung durch Brückenbauwerke gelegt werden.

Aus der Schall03 lassen sich die möglichen Pegelminderungen durch die entsprechenden Zuschläge ablesen. Durch Lärmschutzmaßnahmen sind Pegelminderungen von bis zu 6 dB(A) möglich, abhängig vom Typ der Brücke. Zusätzliche Pegelminderungen lassen sich ggf. mit Schienenstegdämpfern erreichen.

3.4.4 Maßnahmen des Flugverkehrs

Für den Flugverkehr existieren zahlreiche Lärminderungsmaßnahmen, die u. a. in einem Bericht des Umweltbundesamtes [100] zusammengefasst wurden.

Genannt werden dort unter anderem folgende Maßnahmen:

- Vertikale Optimierung von Abflugverfahren,
- Erhöhung der zulässigen Rückenwindkomponente,
- Segmented RNAV [101] (GPS) Approach,
- Ground Based Augmentation System (GBAS),
- Dedicated Runway Operations (DROps),
- Continuous Descent Approach (CDA),
- Anhebung des Anfluggleitwinkels
- Point-Merge-Verfahren.

Die Maßnahmen beruhen zum Teil auf einer Verteilung des Lärms auf ein größeres Gebiet oder mehrere Flugwege, wodurch jeweils lokal oder zeitweise eine geringere Lärmbelastung erreicht wird (Point-Merge, DROps). Die Erhöhung der zulässi-

gen Rückenwindkomponente kann einen Betrieb auf einer lärmoptimierten Start-/Landebahn auch bei ungünstigeren Windbedingungen ermöglichen.

Andere Verfahren beruhen auf einer Erhöhung des Abstands von Flugzeug und Immissionsort. Dies ist etwa bei der vertikalen Optimierung von Abflugverfahren oder der Anhebung des Anfluggleitwinkels der Fall (vertikale Erhöhung). Andere Verfahren bewirken eine Verlagerung der Flugrouten bzw. eine genauere Führung (Segmented RNAV, GBAS).

Das Verfahren Continuous Descent Approach (CDA) soll eine Emissionsminderung durch geringeren Triebwerksschub bewirken.

Insgesamt kann zu den Maßnahmen des Flugverkehrs festgestellt werden, dass die Wirkung nur schwer pauschal zu quantifizieren ist. Die Wirkung hängt immer vom Einzelfall ab und basiert in der Regel auf einer Verlagerung des Lärms in weniger sensible Gebiete oder Zeiten.

3.4.5 Maßnahmen des Schiffsverkehrs

Voruntersuchungen in den Modellgebieten haben gezeigt, dass der Schiffsverkehr auch bei vielbefahrenen Wasserwegen nur marginal zur Gesamtbelastung durch Verkehrslärm beiträgt. Dies ist zum einen durch die geringe Fahrzeugzahl, zum anderen aber auch durch die in der Regel große Entfernung zwischen Fahrinne und schutzbedürftiger Nutzung bedingt.

Im Bereich von Liegestellen mit laufenden Schiffsmotoren sind Konflikte dort zu erwarten, wo der Abstand zwischen Liegestelle und Immissionsort sehr gering ist. Je nach Auslastung der Liegestelle kann der Schiffsverkehr gerade im Nachtzeitraum relevant zur Lärmbelastung beitragen.

Im Nationalen Verkehrslärmschutzpaket II [102] wird die Schifffahrt in die Lärminderung einbezogen, „obwohl sie nur einen vergleichsweise geringen Anteil an der Belastung durch Verkehrslärm hat.“ Als Ansatzpunkte werden vor allem technologische Entwicklungen an Antrieben sowie lokale Optimierungen des Schiffsbetriebs genannt. Hier werden vor allem Liegestellen und Schleusen erfasst, die durch die längere Standzeit der Schiffe in der Regel einer längeren Geräuschemission und somit einer höheren Lärmbelastung ausgesetzt sind.

Als Maßnahmen kommen für den Schiffsverkehr in der Regel keine abschirmenden Maßnahmen (Wän-

de) infrage. Dies ist zum einen durch die zum Teil sehr niedrigen Frequenzen bedingt, die schwer abzuschirmen sind. Zum anderen ist eine Abschirmung beim Schiffsverkehr kaum nahe der Quelle zu realisieren. Sofern vom Schiffsverkehr hohe Pegel an direkt angrenzender schutzbedürftiger Bebauung hervorrufen werden, kann jedoch in Einzelfällen zum Beispiel bei Kanälen mit ufernaher Bebauung oder im innerstädtischen Bereich ein lokaler Schutz durch Lärmschutzwände in Erwägung gezogen werden.

Als lokale Maßnahmen werden im Nationalen Verkehrslärmschutzpaket II [102] neben einer Schaffung „beruhigter Zonen“ einzig die Nachrüstung von Liegestellen mit Stromtankstellen (Landstromanschlüsse) genannt. Beide Maßnahmen zielen darauf ab, die Nutzung einer bordeigenen Stromversorgung zu den Liegezeiten zu vermeiden oder zumindest zu reduzieren. Im Ergebnis wären (unter optimalen Bedingungen) die Geräuschemissionen der Liegeplätze soweit zu verringern, dass diese gegenüber der Fahrwege nicht mehr relevant sind.

3.4.6 Städtebauliche und architektonische Maßnahmen

Beim aktivem Lärmschutz handelt es sich um bauliche Abschirmungsmaßnahmen (siehe Kapitel 3.4.1.1) auf dem Ausbreitungsweg. Passive Lärmschutzmaßnahmen sind dagegen schalltechnische Verbesserungen an Gebäuden und werden erst umgesetzt, wenn der aktive Lärmschutz an (z. B. wirtschaftliche) Grenzen stößt [103].

Auch wenn im Rahmen des Projektes vorrangig Maßnahmen betrachtet werden sollen, die durch den Baulastträger eines Verkehrswegs umzusetzen sind, werden zur Vollständigkeit einige städtebauliche und architektonische Maßnahmen erläutert.

3.4.6.1 Gebäudestellung

Die Lärmbelastungen von Fassaden und Freiräumen hängen in starkem Maße von der Anordnung der Gebäude zur Lärmquelle ab. So sind Zeilenbebauungen (senkrecht zur Schallquelle ausgerichtete Baukörper) schalltechnisch eher ungünstig. Durch eine geschlossene Blockrandbebauung können deren rückwärtige Fassade sowie die dahinter liegenden Wohnbebauungen und Freiräume meist wirkungsvoll abgeschirmt werden.

3.4.6.2 Lückenschlüsse

Das Schließen von Baulücken (etwa bei Zeilenbebauung) bietet ein hohes Potenzial der Lärminderung. Durch die Schließung von Baulücken wird eine vergleichbare Lärminderungswirkung wie beim Bau einer Lärmschutzwand erreicht. Im unmittelbaren Einflussbereich reduziert sich der Pegel um bis zu 20 dB(A) [97].

3.4.6.3 Grundrissorientierung

Eine effektive Art des passiven Lärmschutzes ist es, lärmempfindliche Räume, wie Wohn-, Schlaf- und Arbeitsbereiche, gleich bei der Planung einer Wohneinheit auf der lärmabgewandten Seite des Hauses anzuordnen [104,105].

In Bebauungsplänen wird heute die lärmabhängige Anpassung von Wohnungsgrundrissen in stark belasteten Bereichen als vertretbare passive Lösung festgesetzt. Mittels Selbstabschirmung des Gebäudes kann so eine Minderungswirkung von 5 bis 20 dB(A) erreicht werden [97].

3.4.7 Zusammenfassung

Zusammenfassend werden die identifizierten Lärminderungsmaßnahmen für den Straßen- und

Schienenverkehr in Tabelle 11 dargestellt. Bei der Betrachtung der Maßnahmen in der exemplarischen Anwendung in Kapitel 6 werden folgende emissionswirksame Minderungsmaßnahmen berücksichtigt:

Für den Straßenverkehr

- -2 dB(A): Es handelt sich um vergleichbar einfache Maßnahmen, wie z. B. einen Ersatz mit einem lärmmindernden Fahrbahnbelag (SMA).
- -5 dB(A): Zur Erreichung dieser Minderung ist z. B. der Einsatz eines offenporigen Asphalt notwendig.
- -8 dB(A): Die Minderung kann nur durch umfangreiche Maßnahmenpakete erreicht werden.

Für den Schienenverkehr

- -3 dB(A): Die genannten Maßnahmen am Gleis werden pauschal mit einer Minderung von 3 dB(A) angesetzt.

Da eine Abschirmung nicht (Flug) bzw. nur sehr schwer (Schiff) umsetzbar ist, sind keine Maßnahmen mit quellübergreifende Wirkung zu erwarten. Maßnahmen beziehen sich somit nur jeweils auf diese Quellen.

	Maßnahme	Typische Wirkung (ca.) in dB(A)	Anmerkungen
	Abschirmung		
Straße/ Schiene	Lärmschutzwand/-wall (6 m)	-10	In direkter Nähe zur Wand, Wirkung in größerem Abstand und in größerer Höhe geringer
	Trog (6 m)	-10	Vergleichbar mit Wand gleicher Höhe, stark abhängig von Geometrie
	Niedrige Lärmschutzwand (Schiene)	-4	Stark abhängig von örtlichen Gegebenheiten
Straße	Straßenoberflächen		
	Asphaltbetone, Splittmastixasphalt 0/8 / 0/11	-2	
	OPA 0/11	-4	
	OPA 0/8	-5	
Schiene	Gleis		
	Besonders überwachtetes Gleis	-3	Minderung des Rad-Schiene-Geräuschs
	Schienenstegdämpfer	-3	
	Schienenstegabschirmung	-3	
	Kurven		
	Schienen schmieranlagen	-3	Minderung des Rad-Schiene-Geräuschs

Tab. 11: Zusammenfassung von Lärminderungsmaßnahmen für den Straßen- und Schienenverkehr

Für den Schiffs- und Flugverkehr sind Maßnahmen somit jeweils im Einzelfall zu planen und abzustimmen. Maßnahmen zum Flugverkehrslärm bedingen zudem in der Regel eine umfangreiche Abstimmung mit allen Beteiligten. Zum Schiffsverkehrslärm sind (bei Binnenschiffen) in der Regel die Liegestellen relevant in der Lärmbelastung. Hier existieren Maßnahmen, um diese gezielt zu beruhigen.

4 Verfahren zur Lärminderung bei Lärmkumulation

Ziel des Forschungsprojektes war es, einen Ansatz für eine verkehrsträgerübergreifende Betrachtung der Lärmbelastung zu entwickeln. Die Auswertung von Lärmkumulationen in Modellgebieten hat dabei gezeigt, dass das Auftreten von Lärmkumulation von vielen Parametern abhängt (Kapitel 2.3).

Da sich aus den Modellergebnissen keine allgemeingültigen Aussagen zu effektiven Lärmschutzmaßnahmen ableiten lassen, wurde ein allgemeiner Umgang mit Lärmkumulationen angestrebt, der eine Hilfestellung sowohl bei der Analyse der Belastungssituation als auch bei der Maßnahmen- und Variantenprüfung gibt.

Aus der Analyse zu Grundlagen der Berechnung und Bewertung (Kapitel 3) geht hervor, dass für verschiedene Aspekte jeweils mehrere Methoden existieren, die grundsätzlich angewandt werden können:

Für die Berechnung liegen je nach Einsatzgebiet unterschiedliche Berechnungsmethoden vor, für den Umgang mit Umgebungslärm z. B. die BUB.

Je nach Beurteilungsgrundlage sind auch unterschiedliche Schutzziele definiert, die eine Spanne von mindestens 15 dB abdecken können. Bei der Bewertung können zudem zunehmend auch Belästigungswirkungen in den Fokus geraten. Hierzu gibt es aber keine rechtliche Grundlage.

Auch zur Variantenprüfung anhand von Nutzen-Kosten-Methoden gibt es eine Vielzahl von Methoden, die zu Unterschieden in der Priorisierung führen können.

Die Kombination des Lärms verschiedener Quellen zu einer Gesamtbelastung ist anhand verschiedener Methoden möglich. Es ergeben sich relevante Unterschiede bei den Verfahren, gerade bei Be-

rücksichtigung einer Lärmwirkung. Derzeit ist eine Gesamtlärmbewertung und somit eine mögliche Anwendung der VDI 3722-2 vor allem aus rechtlicher Sicht nicht gegeben, solange nicht eine Lärmbelastung zu erwarten ist, die mit Gesundheitsgefahren oder einem Eingriff in die Substanz des Eigentums verbunden ist [9]. Die mit der VDI 3722-2 ermittelte Gesamtbelastung bezieht sich dabei auf eine äquivalente Belästigungswirkung. Die berechneten Substitutionspegel lassen sich nicht mit Schwellenwerten vergleichen, die eine Wirkung des Lärms auf die Gesundheit berücksichtigen (siehe z. B. die in Kapitel 3.1.3 genannten) [9]. Für weitere Details wird an dieser Stelle auf das Rechtsgutachten im Rahmen des UBA-Vorhabens zu Gesamtlärm verwiesen [9].

Auf Grundlage der bisherigen Untersuchungen wurde daher ein allgemeingültiges Verfahren zur Lärminderung bei Lärmkumulation entwickelt. Dieses ist so konzipiert, dass es

- unabhängig von Rechenvorschriften,
- unabhängig von einer Addition und
- unabhängig von Bewertungsgrundlagen (Schwellenwerte)

ist. Beim Verfahren wird unter anderem aus den oben genannten Gründen auf eine Festlegung einer Gesamtbewertungsmethode verzichtet. Stattdessen wird eine gemeinsame Betrachtung der jeweiligen Teilpegel vorgenommen. Das heißt, dass der Teilpegel jeder Quelle für sich ermittelt wird, der Zusammenhang der beiden Teilpegel an einem Immissionsort jedoch wesentlich für eine Bewertung ist.

Insgesamt soll das Verfahren damit auch bei Änderungen der rechtlichen Grundlagen anwendbar bleiben. Die Bewertung eines gleichzeitigen Eintretens von Lärm aus verschiedenen Quellen wird durch die Bewertung des jeweiligen einzelnen Einflusses erreicht.

Der Schwerpunkt wird auf einer Methode für zwei Lärmquellen liegen. Dennoch wurde darauf geachtet, dass alle vier Lärmarten – Straße, Schiene, Flug und Schiff – im Verfahren angemessen berücksichtigt werden können.

Als Grundlage für ein Analyse- und Bewertungsverfahren nach den zuvor vorgestellten Prämissen werden im Wesentlichen zwei Methoden vorgestellt:

- Anhand der Darstellung der Pegelverteilung kann eine Situation (Bestand oder Maßnahmenvariante) hinsichtlich der notwendigen Maßnahmen bzw. der Einhaltung eines Schutzziels und der notwendigen Maßnahmen untersucht werden.
- Anhand einer Darstellung der Pegeländerungen kann eine Maßnahmenvariante in ihrer Wirkung eingeschätzt werden.

Die in diesem Kapitel vorgestellten Methoden werden im Kapitel 5 in einem Leitfaden zur praktischen Anwendung eingebettet.

4.1 Pegelverteilung zweier dominanter Quellen

Zur genaueren Prüfung der Lärmsituation wurde ein Diagramm gewählt, bei dem die Beurteilungspegel zweier dominanter Quellen aufgetragen werden. In den folgenden Beispielen sind dies stets der Straßen- und der Schienenverkehr.

In Bild 62 ist für einen Immissionsort (z. B. einen Fassadenpegel) der Beurteilungspegel des Straßenverkehrs auf der x-Achse, der des Schienenverkehrs auf der y-Achse aufgetragen. Die Achsen sind jeweils so skaliert, dass die Über- oder Unterschreitung eines Schwellenwertes ermittelt wird.

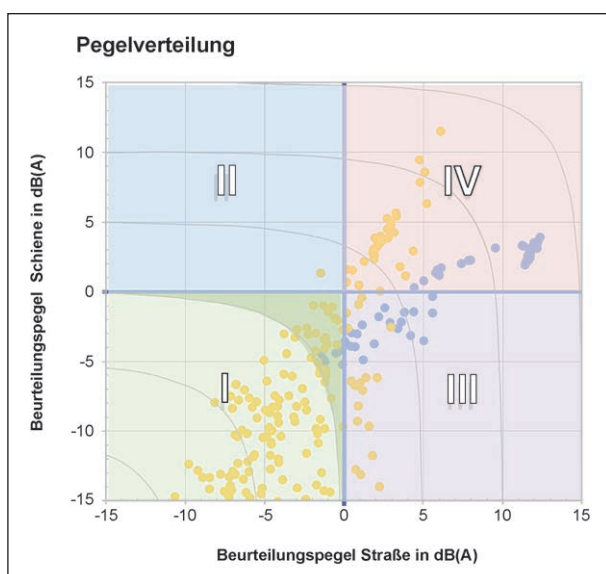


Bild 62: Exemplarische Pegelverteilung Straße und Schiene (mit Kennzeichnung der Sektoren, Pegel jeweils als Differenz zu einem Schwellenwert (z. B. Grenzwert) dargestellt, Isolinien gleichen Summenpegels (energetisch) Straße+Schiene in Grau)

Der Schwellenwert kann zum Beispiel der Auslösewert der Lärmsanierung, der Immissionsgrenzwert der 16. BImSchV oder ein sonstiger gewählter Schwellenwert sein. Unterschiedliche Schwellenwerte durch unterschiedliche Gebietsnutzungen (z. B. Wohngebiete/Mischgebiete) können hierbei ebenfalls berücksichtigt werden, auch können die Schwellenwerte für die beiden Lärmquellen unterschiedlich gewählt werden.

Die Grafik kann grob in vier Sektoren eingeteilt werden:

- Im ersten Sektor (I, Grün) wird der jeweilige Schwellenwert für Straßen- und Schienenverkehrslärm unterschritten. Im dunkelgrünen Bereich liegt die energetische Summe der Beurteilungspegel jedoch bereits über dem Schwellenwert (sofern dieser für beide Quellen identisch ist). Auch hier kann eine Lärmkumulation vorliegen.
- Im zweiten Sektor (II, Blau) liegt der Beurteilungspegel durch Straßenverkehr unter dem Schwellenwert, der durch Schienenverkehr jedoch darüber. Hier liegt also ein Lärmkonflikt durch Schienenverkehr vor.
- Im dritten Sektor (III, Violett) liegt der Beurteilungspegel durch Schienenverkehr unter dem Schwellenwert, der durch Straßenverkehr jedoch darüber. Hier liegt also ein Lärmkonflikt durch Straßenverkehr vor.
- Im vierten Sektor (IV, Rot) wird der Schwellenwert sowohl durch Straßen- als auch durch Schienenverkehr überschritten. Lärmindernde Maßnahmen wären somit für beide Lärmquellen notwendig.

Ergänzend sind im Diagramm auch die Isolinien für einen Gesamtpegel nach energetischer Addition enthalten. Diese kennzeichnen jeweils eine Differenz der resultierenden Pegelsumme zwischen -15 und +15 dB (in 5 dB-Schritten) bezogen auf einen Schwellenwert. Anhand dieser Kennlinien lässt sich auch die mögliche Minderungswirkung einer Maßnahme auf den Gesamtpegel ablesen.

Die Größe der Punkte kann orientierend die jeweilige dem Fassadenpunkt zugeordnete Bewohneranzahl darstellen. Über die Punktfarbe (hier: Gelb und Blau) kann eine Zuordnung zu Teilgebieten erfolgen, um die Wirkung für bestimmte Gebäude besser bewerten zu können.

4.2 Pegelverteilung bei mehr als zwei Quellen

Für den Fall, dass mehr als zwei Quellen in einem Untersuchungsgebiet vorliegen, kann das Verfahren über mehrere Diagramme angewandt werden. In der Regel bietet sich eine Vorprüfung an, bei der ermittelt wird, ob durch alle Quellen relevante Belastungen, d. h. oberhalb der Schwellenwerte, vorliegen. Sofern eine Quelle nicht relevant beiträgt, sind nur die übrigen Quellen zu betrachten.

Für den Fall, dass eine weitere Quellen relevant zur Lärmbelastung beiträgt, bietet es sich an, die Quellen Schiffsverkehr sowie Flugverkehr vorerst separat zu betrachten. Beide Quellen zeichnen sich dadurch aus, dass in der Regel keine Maßnahmen zu finden sind, die auch bei anderen Verkehrslärmquellen wirken. Die Maßnahmenplanung ist also für diese Quellen im ersten Schritt separat durchzuführen.

Sofern eine Minderungsmaßnahme gewählt wurde oder für den Fall, dass keine Maßnahme vorgesehen wird, können jene Immissionsorte identifiziert werden, die über dem Schwellenwert belastet sind. Sofern es deutliche Unterschiede in der Überschreitung gibt, können auch mehrere Gruppen unterschiedlicher Überschreitungsklassen gewählt werden. Bei der Darstellung der Pegelverteilung der zwei verbleibenden Quellen können die dann von der dritten Quelle belasteten Immissionsorte gesondert berücksichtigt werden.

So können für Immissionsorte, bei denen die dritte Quelle eine deutliche Überschreitung hervorruft (z. B. 5-10 dB), Maßnahmen bei niedrigen Schwellenwertüberschreitungen der anderen Quellen wegen geringer Gesamtwirkung nachrangig in Erwägung gezogen werden.

Auf der anderen Seite können für Immissionsorte, die zusätzlich zu einer relevanten Belastung der in der Pegelverteilung betrachteten Quellen von der dritten Quelle beaufschlagt sind, vorrangig Maßnahmen vorgesehen werden. Dies bietet sich insbesondere an, wenn diese Quellen lauter sind als die dritte Quelle.

In Bild 63 ist dieser Fall dargestellt: auf der linken Seite ist die Pegelverteilung zwischen Straßen- und Flugverkehr dargestellt. Sichtbar sind die Gebäude mit einer Schwellenwertüberschreitung des Flugverkehrs. Auf der rechten Seite sind in der Pegelverteilung zwischen Straßen- und Schienenverkehr die Gebäude mit einer Überschreitung des Flugverkehrspegels zusätzlich gekennzeichnet.

Die Auswertung zeigt, dass die von Fluglärm betroffenen Gebäude starke Unterschiede in der Belastung durch Straßen- und Schienenverkehrslärm aufweisen. Dies rührt daher, dass die Fluglärmquelle kreuzend zu parallelen Quellen Straße und Schiene gelegt wurde.

Im Sinne einer verminderten Gesamtbelastung sollten hier entweder bevorzugt jene Gebäude vom

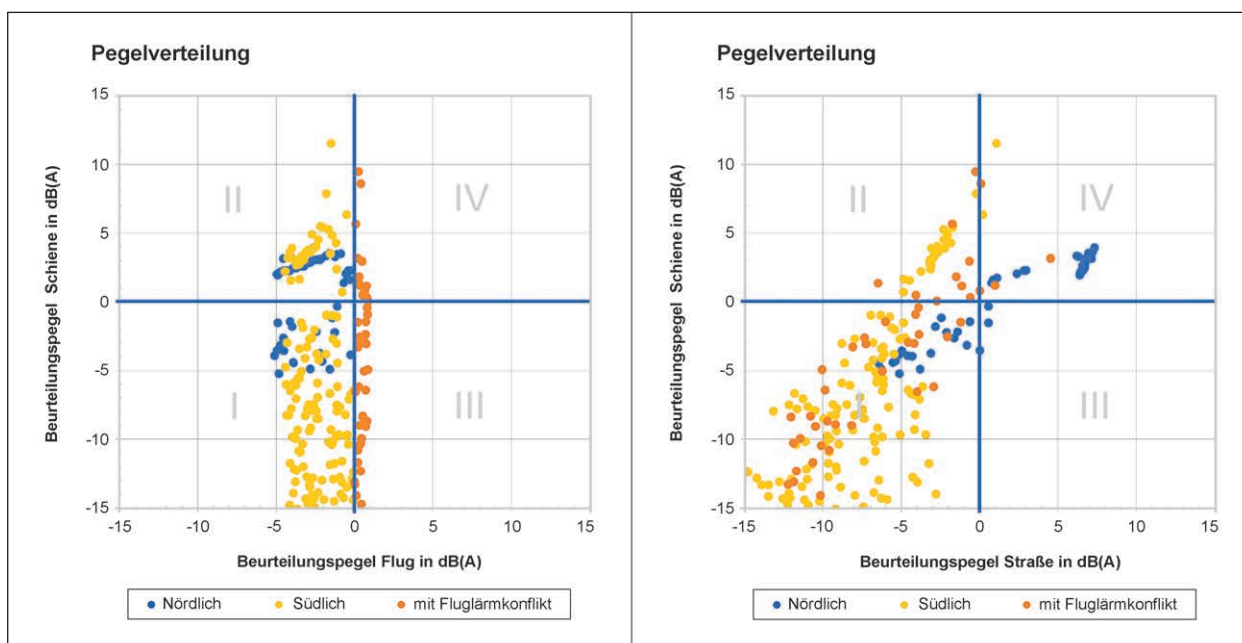


Bild 63: Pegelverteilung Schiene-Flug (links) und Straße-Schiene (rechts)

Fluglärm entlastet werden, die auch eine hohe Belastung durch Straßen- und Schienenverkehrslärm aufweisen, oder jene Gebäude eine Entlastung von Straßen- und Schienenverkehrslärm erfahren, die stark durch Fluglärm betroffen sind.

4.3 Maßnahmenwirkung

Ergänzend zur Darstellung der Pegelverteilung wird eine Darstellung der Pegeländerung eingeführt. Diese stellt die maßnahmenbedingten Pegelveränderungen gegenüber einer definierten Ausgangsvariante (z. B. Bestand) dar.

Hierbei werden die Differenzen der Beurteilungspegel (Variante ohne Maßnahmen zu Variante mit Maßnahme) z. B. des Straßenverkehrs auf der x-Achse, die des Schienenverkehrs auf der y-Achse aufgetragen.

Über die Punktfarbe und Größe ist, wie bei der Pegelverteilung, die Darstellung der Gebäude in einem Teilgebiet bzw. der Anzahl der Betroffenen möglich.

Im Beispiel (Bild 64) ist die Wirkung einer Lärmschutzwand in Kombination mit einem lärmarmen Asphalt dargestellt. Die Wand wirkt auf die Punkte der Gruppe 1 (Blau) und 3 (Gelb) unterschiedlich. Die Verschiebung der Punkte auf der x-Achse um -5 dB(A) (rote Markierung) ist z. B. durch eine lärmarme Fahrbahnoberfläche bedingt. Bei einer einheitlichen Emissionsminderung wirkt diese auf alle Immissionsorte gleich.

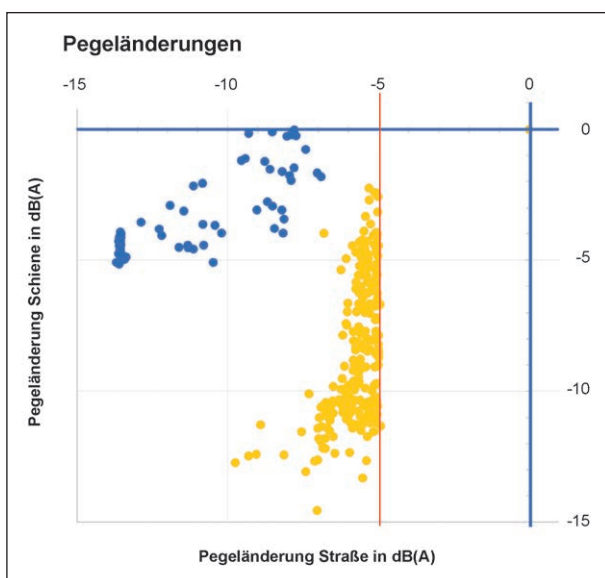


Bild 64: Exemplarische Pegeländerungen Straße und Schiene

4.4 Kombination der Diagramme

Über die Kombination der beiden Diagramme (Bild 62 und Bild 64) kann die notwendige Wirkung von Maßnahmen für einen Lärmschutz zur Einhaltung des Schutzziels schnell ermittelt werden. Aus dem Diagramm „Pegelverteilung“ (Bild 65) geht hervor, dass für die blau markierten Gebäude eine maximale Minderung des Straßenverkehrslärms von ca. 12 dB(A) und des Schienenverkehrslärms von ca. 4 dB(A) erreicht werden müssen (rote Pfeile), um den gewählten Schwellenwert einzuhalten. Für die gelb markierten Gebäude ist eine maximale Minderung des Straßenverkehrslärms von rund 6 dB(A), des Schienenverkehrslärms von rund 12 dB(A) notwendig (grüne Pfeile).

Aus dem Bild der Pegeländerung (Bild 66) kann für Einzelmaßnahmen sowie kombinierte Maßnahmen bestimmt werden, wie die potenzielle Pegeländerung ausfällt. In Bild 66 ergeben sich für die blauen Punkte Änderungen von -7 bis -14 dB(A) für den Straßenverkehrslärm (Rot, von rechts nach links) sowie rund 0 bis -5 dB(A) für den Schienenverkehrslärm (Rot, von unten nach oben). Für die gelben Punkte ergeben sich für den Straßenverkehrslärm Minderungen von -5 bis -10 dB(A) (Grün, von rechts nach links), für den Schienenverkehrslärm von -2 bis -15 dB(A) (Grün, von oben nach unten).

Aus dem Diagramm der Pegeländerung (Bild 66) lässt sich somit die grundsätzliche Wirkung einer

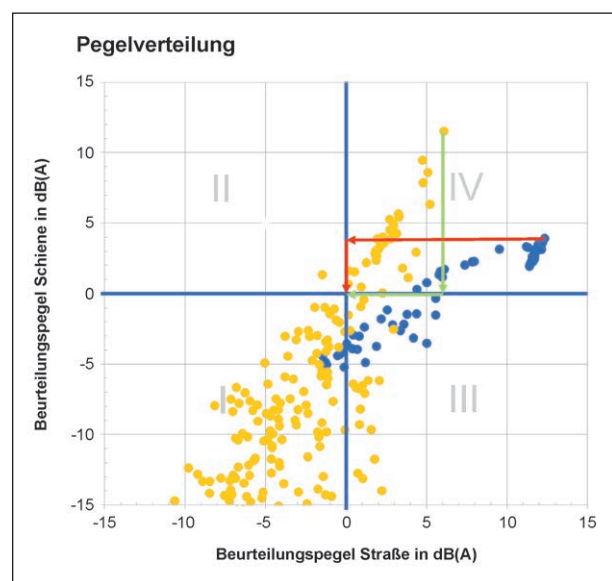


Bild 65: Exemplarische Pegelverteilung Straße und Schiene (mit Kennzeichnung der Schwellenwertüberschreitung für zwei Punkte)

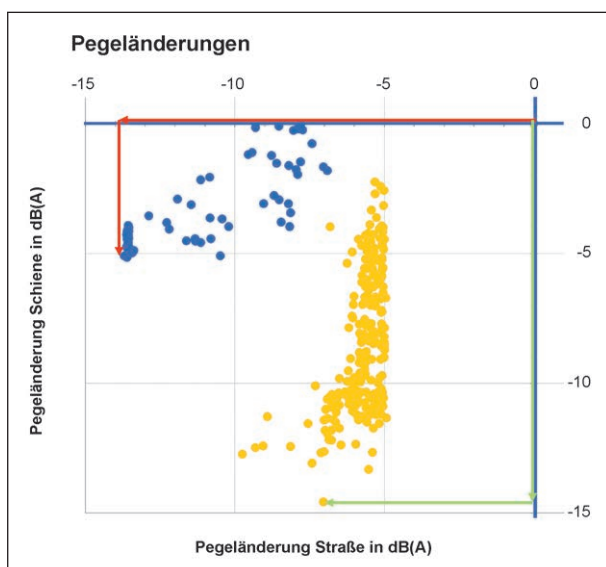


Bild 66: Pegeländerungen

Maßnahme ablesen. Zudem lässt sich prüfen, ob die Höhe der Wirkung mit den notwendigen Pegelminderungen übereinstimmt.

4.5 Anwendung abweichender Methoden

Nach der Prämisse des entwickelten Verfahrens soll eine Unabhängigkeit von mehreren möglichen Methoden gegeben sein. Das Verfahren soll unabhängig sein von

- einer Berechnungsmethode – also hinsichtlich der Methode zur Ermittlung der Beurteilungspegel,
- einer Bewertungsmethode – also hinsichtlich einer möglichen Anwendung einer Bewertung oder Bewertungsfunktion,
- den Schutzziele – also hinsichtlich eines definierten Zieles für Pegel oder Bewertungszahl.

4.5.1 Abweichende Berechnungsmethoden (z. B. BUB)

Grundsätzlich sind die in Kapitel 4.1 bis 4.4 erläuterten Bewertungen auch bei abweichenden Rechenvorschriften anwendbar. Dies wird in der exemplarischen Anwendung in Kapitel 6.4 für ein Gebiet demonstriert.

Bei der Anwendung einer abweichenden Rechenvorschrift sind jeweils die anzuwendenden Schwellenwerte

(Grenz-, Richt- bzw. Orientierungswerte) zu beachten. Da der Schwellenwert jeweils separat berücksichtigt wird, ist auch ein für beide Ermittler unterschiedlicher Schwellenwert in der Bewertung möglich. Dies ermöglicht zum Beispiel auch die Kombination von Straßen- oder Schienenverkehrs- mit Flugverkehrslärm in der Auswertung.

4.5.2 Abweichende Bewertungsmethoden (z. B. VDI 3722-2)

Exemplarisch wird in Kapitel 6.2 auch der Einsatz der entwickelten Darstellungen unter Anwendung von Methoden der VDI 3722-2 gezeigt. Hierzu wird der Beurteilungspegel des Schienenverkehrs auf den renormierten Ersatzpegel umgerechnet. Dieser Pegel ergibt sich aus der Wirkungsäquivalenz der Belästigung zum Straßenverkehr, d. h. es wird jener Pegel ermittelt, bei dem der Schienenverkehr die gleiche Belästigung verursacht wie der Straßenverkehr.

Anhand der in der VDI 3722-2 aktuell veröffentlichten Gleichungen ergeben sich rund 6 dB geringere Ersatzpegel für den Schienenverkehr. In der nach WHO-Review geänderten VDI 3722-2 läge der Ersatzpegel des Schienenverkehrs rund 5 dB höher. Bei einer Bewertung der berechneten Ersatzpegel für Schienenverkehr und der Beurteilungspegel für den Straßenverkehr nach einem identischen Schwellenwert (der in diesem Fall dann auch eine gleiche Belästigungswirkung von Straßen- und Schienenverkehrslärm kennzeichnen würde) verschieben sich somit die Pegel für den Schienenverkehr im Diagramm entsprechend.

Grundsätzlich ist ein Einsatz der vorgesehenen Darstellungen „Pegelverteilung“ und „Pegeländerungen“ also auch mit Mitteln einer Bewertung von Gesamtbelästigung möglich. Ein Schwellenwert würde dann über die zu akzeptierende Belästigungswirkung definiert, die Ermittlung einer Über- oder Unterschreitung würde über den auf Straßenverkehrslärm renormierten Ersatzpegel erfolgen.

4.5.3 Abweichende Dimension der Schwellenwerte (z. B. %HA)

Anstelle der Nutzung z. B. des renormierten Ersatzpegels der VDI 3722-2 kann auch direkt eine Bewertungsfunktion abweichend vom Dezibel gewählt werden. Der Anteil Hochbelasteter (%HA) ist hierfür ein Beispiel. Der Schwellenwert kann sich dann auf

diesen beziehen (z. B. 10 % Hochbelastete (%HA)). Für diese Kenngrößen existieren noch keine Grenz- oder Richtwerte. Die WHO Leitlinien [33] legen einen Anteil von z. B. 10 % hoch belastigter Personen als relevanten absoluten Risikoanstieg zugrunde.

4.6 Nutzen-Kosten-Vergleich

Für das entwickelte Verfahren wird kein eigener Nutzen-Kosten-Vergleich vorgeschlagen. Vielmehr bietet sich hierfür die Anwendung eines bestehenden, etablierten Verfahrens an. Im Rahmen des Leitfadens soll dabei keine Festlegung auf ein bestimmtes Verfahren erfolgen. Es bleibt dem Anwendenden vorbehalten, eine für den speziellen Fall geeignete oder vorgegebene Methode auszuwählen. Die in Kapitel 3.3.2 aufgeführte Übersicht ist dabei nicht als vollständig anzusehen, auch in diesem Projekt nicht erwähnte Methoden können zum Einsatz kommen.

Um zu verdeutlichen, dass der Leitfaden an dieser Stelle explizit keine Vorgabe macht, werden exemplarisch mehrere Methoden angewendet. Für die in

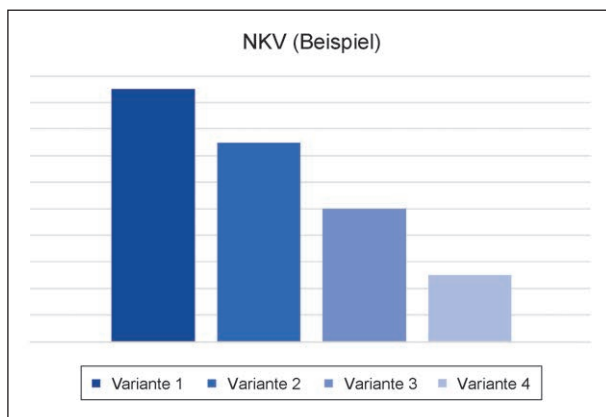


Bild 67: Beispiel Vergleich NKV

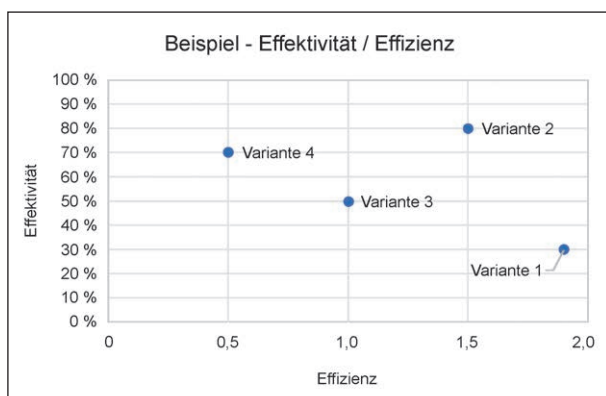


Bild 68: Beispiel Vergleich Effektivität/Effizienz

Kapitel 6 untersuchten Varianten wurden daher verschiedene Nutzen-Kosten-Analysen in Anlehnung an die in Kapitel 3.3.2 erläuterten Methoden durchgeführt. Es erfolgt eine Ermittlung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses (NKV) sowohl nach „Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Lärmsanierung an Schienenwegen“ als auch nach dem Kostenverteilungsansatz des UBA mit dem Bewertungsindex „EBI“. Die NKV der Maßnahmen werden jeweils in einem Diagramm nebeneinander dargestellt (Bild 67).

Zudem werden die Effizienz (Erreichung des Schutzziels) sowie die Effektivität (Nutzen-Kosten-Verhältnis, hier nach NKV-Modell der Lärmsanierung) entsprechend dem in Kapitel 3.2.4.3 vorgestellten Schweizer Modell aufgetragen (Bild 68). Die Effizienz wurde in den Auswertungen anhand des NKV des Modells der Lärmsanierung ermittelt, die Effektivität wurde aus der Änderung in der Lärm-Kennziffer (LKZ) für den Gesamtlärm abgeleitet.

5 Leitfaden zur Lärmkumulation

Für die Bewertung einer verkehrsträgerübergreifenden Lärmkumulation in komplexen Situationen wird ein Verfahren vorgeschlagen, das in einer zweistufigen Vorgehensweise aufgebaut ist. Zuerst wird das Vorliegen einer Lärmkumulation sowie die Voraussetzungen für eine Anwendung des Verfahrens geprüft. Wenn die Voraussetzungen gegeben sind, wird im Anschluss ein Prüfverfahren für zwei relevante Quellen zur Maßnahmenfindung durchlaufen.

Da sich die Immissionssituation zwischen dem Tag- und Nachtzeitraum unterscheiden kann, ist das Verfahren grundsätzlich getrennt für alle relevanten Beurteilungszeiträume anzuwenden (diese ergeben sich in der Regel aus dem Schutzziel).

5.1 Vorprüfung

Die Vorprüfung erfolgt in insgesamt vier Schritten. Diese sind auch in Bild 69 dargestellt.

Schritt 1: Umgrenzung Untersuchungsgebiet

Im Rahmen der Vorprüfung ist als erstes ein grobes Untersuchungsgebiet zu definieren, in dem eine Lärmkumulation erwartet wird. Die Abgrenzung

sollte groß genug gewählt werden, dass (von mehreren Lärmquellen) belastete Bereiche vollständig enthalten sind und nicht geteilt werden. Gleichzeitig sollte im Untersuchungsgebiet möglichst jeweils nur eine Situation einer Mehrfachbelastung erfasst werden, sofern eine Trennung der Bereiche gegeben ist. Der konkrete Zuschnitt des Untersuchungsgebietes folgt im Schritt 3, daher sollte die erste Definition eher zu groß als zu einschränkt gewählt werden.

Eine Berücksichtigung von mehreren Kumulationen (z. B. Kreuzung einer Bahnstrecke mit mehreren unterschiedlichen Straßen) ist grundsätzlich möglich. Hierzu können die Immissionsorte auch räumlich getrennt über unterschiedliche Farben in den Diagrammen ausgewertet werden. Es bietet sich jedoch insbesondere bei größeren Abständen (wenn gemeinsam abgestimmte Maßnahmenpakete für beide Konfliktbereiche sich nicht anbieten) sowie bei umfangreichen Konflikten mit vielen Immissionsorten eine Trennung an. Insbesondere bei Nutzen-Kosten-Vergleichen sollten nur Maßnahmen mit den gleichen Konfliktbereichen und Immissionsorten verglichen werden.

Schritt 2: Lärmberechnung getrennt nach Lärmarten

Nach der Definition des groben Untersuchungsgebietes mit den zu betrachtenden schutzbedürftigen Nutzungen findet eine Modellierung der dafür relevanten Umgebung für eine schalltechnische Berechnung statt. Je nach Gebiet (Bebauung, Topografie) und Quellen ist das Modellgebiet so zu wählen, dass alle auf das Gebiet einwirkenden Emissionen der Quellen ausreichend berücksichtigt werden.

Das Verfahren zur Ermittlung einer Lärmkumulation ist auch für vereinfachte Modelle zur ersten unverbindlichen Abschätzung verwendbar. Es können hierzu insbesondere hinsichtlich Gelände und Gebäuden ggf. weniger detaillierte Datensätze Eingang in die Berechnung finden. Für die schalltechnische Situation wesentliche Gegebenheiten (Wälle, Einschnitte, größere abschirmende Gebäude) sollten jedoch in ausreichender Genauigkeit berücksichtigt werden.

Für die abschließende Anwendung des Verfahrens zur Lärmkumulation sollte das Modell dann entsprechend des Anwendungszwecks verfeinert werden. Hierzu gehört eine entsprechende Berücksichti-

gung aller relevanten Abschirmungen und Reflexionen etwa über Gebäude, Gelände und Lärmschutzwände und -wälle.

Für die Vorprüfung können sowohl Immissionsraster als auch Fassadenpunktberechnungen vorgenommen werden. Die Berechnungen der Beurteilungspegel werden getrennt nach den Lärmarten durchgeführt, jeweils gemäß der anzuwendenden Rechenvorschrift.

Schritt 3: Konkretisierung Untersuchungsgebiet

Zur Konkretisierung des Untersuchungsgebiets erfolgt eine Abgrenzung des eigentlichen Bereiches einer möglichen Lärmkumulation. Hierzu wird ein zu berücksichtigender Zielwert definiert (siehe Kapitel 5.2, Schritt 1). Dabei empfiehlt es sich, den niedrigsten Wert zu wählen, der sich aus den vorkommenden schutzbedürftigen Nutzungen ergeben kann (z. B. nach Art der Nutzung (BauNVO) unterschiedene Immissionsgrenzwerte).

Die Relevanz einer Quelle auf einen Pegel kann dadurch beschrieben werden, dass dieser um nicht mehr als 10 dB unterschritten wird. Somit ergibt sich der relevante Einwirkungsbereich einer Quelle durch den Bereich, bei dem der gewählte Schwellenwert um maximal 10 dB unterschritten wird. Die Berechnungsergebnisse aus Schritt 2 können anhand der jeweiligen Isophone (oder anhand der Lage der berechneten Fassadenpunkte) ausgewertet werden und der jeweilige Einwirkungsbereich jeder Quelle ermittelt werden. Eine Lärmkumulation, d. h. das relevante gleichzeitige Einwirken mindestens zweier Quellen, ergibt sich dort, wo sich der Einwirkungsbereich mehrerer Quellen überschneidet.

Das tatsächlich zu untersuchende Gebiet sollte darüber hinaus so erweitert werden, dass mögliche Maßnahmeneffekte vollständig erfasst werden, d. h. dass zum Beispiel die (relevante) Pegelminderung einer Lärmschutzwand vollständig im Untersuchungsgebiet liegt. Sofern das Gebiet zu stark eingeschränkt wird, liefert die Anwendung der Nutzen-Kosten-Analysen ggf. falsche Ergebnisse.

Schritt 4: Prüfung Dominanz Flug- und Schiffs-lärm und wirksame Maßnahmen

Die Voruntersuchungen des Projektes haben aufgezeigt, dass in der Betrachtung einer Lärmkumulation Flug- und Schiffsverkehrslärm vorzugsweise

gesondert zu betrachten sind. Zum einen entfallen verkehrsträgerübergreifende Maßnahmen der jeweiligen Lärmquelle Flug bzw. Schiff mit anderen Lärmquellen weitestgehend, zum anderen lassen beide Quellen unterschiedliche Dominanz in einem Untersuchungsgebiet erwarten.

Der Flugverkehrslärm breitet sich durch die Lage der Emissionen in größerer Höhe ungehindert aus und lässt in der zu erwartenden Größe eines Untersuchungsgebietes (wenige hundert Meter) vergleichsweise geringe Variationen erwarten. Für den Schiffsverkehrslärm sind in der Regel nur in wenigen Fällen Konflikte, vorwiegend im Bereich von Liegestellen, zu erwarten.

Die Vorprüfung sieht eine Dominanzprüfung der jeweiligen Quellen Fluglärm und Schiffsärm vor. Die Dominanz lässt sich (bei Betrachtung des Mittelungspegels) sicher bei einem Pegelunterschied von rund 10 dB beschreiben. Eine Dominanz lässt sich auch durch die sich bei einer Kumulation ergebenden möglichen Pegelminderungen ermitteln. Hierzu kann orientierend auf das Diagramm in Kapitel 2.1.2, Bild 3 zurückgegriffen werden. Ausgehend vom Pegel der zu betrachtenden Quelle (Flug/Schiff, im Diagramm als „Quelle 2“) im Vergleich zum Pegel der lautesten übrigen Quellen bzw. einem hilfsweise ermittelten Gesamtpegel aller Quel-

len (im Diagramm als „Quelle 1“) sowie der notwendigen oder möglichen Pegelminderung lässt sich eine Dominanz definieren.

Wenn eine weitere Quelle (im Diagramm „Quelle 1“) einen geringen Einfluss hat (z. B. mit einem Anteil von unter 30 % an den Gesamtimmissionen), ergeben sich nur geringe Minderungspotenziale eines Gesamtpegels durch Maßnahmen an der Quelle 1. Selbst bei einer Minderung von 20 dB an der Quelle 1 wären im Gesamtpegel weniger als 2 dB an Wirkung zu verzeichnen. Sofern ein Gesamtpegel z. B. um 3 dB gemindert werden muss, sind Maßnahmen an der Quelle 2 (Flug/Schiff) zwingend vorzusehen, da dieses Ziel andernfalls nicht zu erreichen ist. Die Maßnahmen für Flug- und in der Regel auch Schiffsverkehr (siehe Kapitel 3.4.4 und 3.4.5) sind unabhängig von Maßnahmen für Straßen- und Schienenverkehr. Wirksame Maßnahmen für den Flug- und Schiffsverkehrslärm sorgen somit dafür, dass die Dominanz dieser Quellen entfällt und somit eine Pegelminderung an den übrigen Quellen effektiv wird.

Ergebnis: Keine Kumulation

Sofern für eine dominierende Quelle keine wirksamen Maßnahmen gefunden werden können, liegt keine Lärmkumulation im Sinne des entwickelten Verfahrens vor und die Anwendung des Leitfadens endet.

Ergebnis: Verfahren Lärmkumulation

Wenn weder Flug- noch Schiffsverkehrslärm dominant sind oder wenn geeignete wirksame Maßnahmen gefunden wurden, wird mit dem Verfahren zur Lärmkumulation fortgefahren. Für die Verkehrsträger Straße und Schiene wird in der Vorprüfung keine Prüfung auf Dominanz vorgenommen. Eine erste Vorauswahl potenzieller Gebiete hat schon im Rahmen der Konkretisierung des Untersuchungsgebietes stattgefunden (Bild 69, Schritt 3). Ob eine relevante Lärmkumulation vorliegt (d. h. ob tatsächlich eine relevante Belastung durch mehrere Verkehrsträger vorliegt und ob geeignete gemeinsame Maßnahmen gefunden werden können), wird erst im eigentlichen Verfahren zur Lärmkumulation ermittelt.

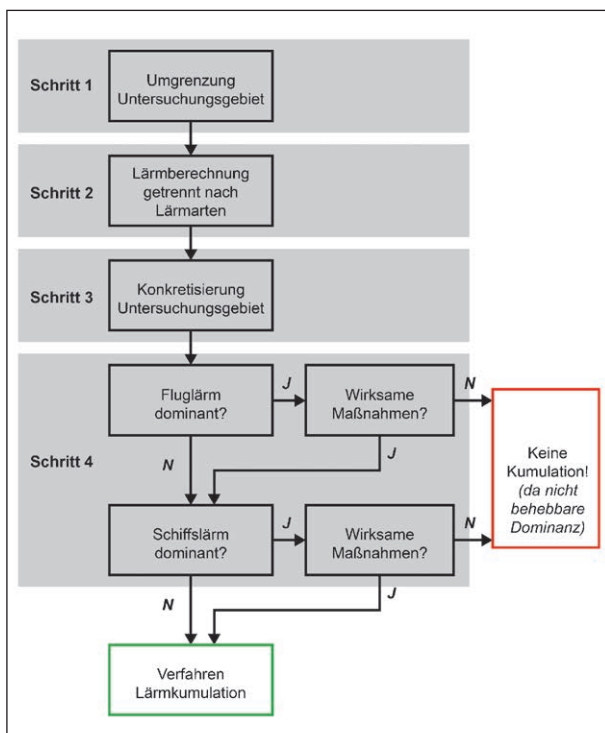


Bild 69: Verfahrensschritte zur Lärminderung bei Lärmkumulation Verfahren Vorprüfung

5.2 Verfahren Lärmkumulation

Die eigentliche Prüfung der Lärmkumulation sowie Maßnahmenprüfung erfolgt in insgesamt sieben Schritten, wobei einzelne Schritte gegebenenfalls auch wiederholt durchgeführt werden müssen. Der Ablauf der Prüfschritte ist auch in Bild 72 dargestellt.

Schritt 1: Darstellung als Pegelverteilung und Gruppierung der Immissionsorte

Das Prüfverfahren zur Lärmkumulation basiert stets auf dem Vergleich zweier relevanter Quellen (z. B. Straße/Schiene). Die Berechnungsergebnisse aus der Vorprüfung werden in dem in Kapitel 4.1 vorgestellten Diagramm zur Pegelverteilung aufgetragen. Für die Immissionsorte werden die Ziel- bzw. Schwellenwerte idealerweise aus der Schutzbedürftigkeit (z. B. in Abhängigkeit der Nutzung nach Bau-Nutzungsverordnung) abgeleitet.

Im Diagramm kann eine Gruppierung der Immissionsorte und damit eine getrennte farbliche Darstellung erfolgen. Eine Gruppierung bieten sich an z. B. nach:

- Lage der Immissionsorte (z. B. nördlich oder südlich eines Verkehrswegs),
- Konfliktbereich (nur Straße, nur Schiene, Kumulation),
- Schutzbedürftigkeit (Wohngebiet, Mischgebiet, Gewerbegebiet).

Ein einfaches Beispiel zur Pegelverteilung ist in Bild 70 dargestellt. Es wird pro Gebäude ein Punkt für die zwei Quellen (Schiene und Straße) relativ zu einem Schwellenwert auf den Achsen aufgetragen. Die Gebäude werden zwei Gruppen nach räumlicher Trennung zugewiesen und farblich gekennzeichnet.

Die erste Bewertung der Pegelverteilung sollte insbesondere der Feststellung einer Lärmkumulation dienen. Anhand der im Diagramm aufgetragenen Punkte lässt sich schnell erfassen, ob kein Verkehrsträger (ausschließlich im Sektor I), jeweils nur ein einzelner Verkehrsträger (auch in den Sektoren II und III) oder beide betrachteten (auch in Sektor IV) relevant einwirken.

Sofern ausschließlich für einen Verkehrsträger Schwellenwertüberschreitungen ermittelt werden (Immissionsorte mit Überschreitungen entweder in

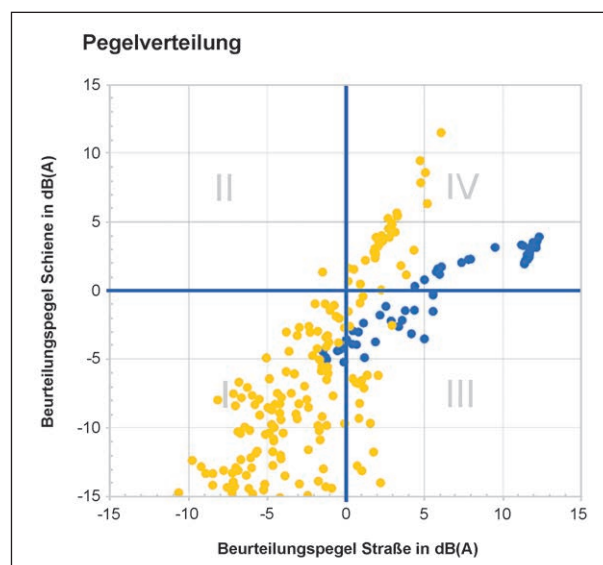


Bild 70: Exemplarische Pegelverteilung Straße und Schiene (mit Kennzeichnung der Sektoren, Pegel jeweils als Differenz zu einem Schwellenwert (z. B. Grenzwert) dargestellt)

Sektor II oder in Sektor III), liegt keine Kumulation und auch kein Lärmkonflikt für zwei Verkehrsträger vor. Maßnahmen sind dann einzig für einen Verkehrsträger zu ermitteln, das Verfahren kann somit beendet werden.

Für den Fall, dass zwar keine gemeinsame relevante Belastung eintritt (keine Immissionsorte in Sektor IV, aber in Sektor II und Sektor III), kann das Verfahren optional weiter verfolgt werden. Es liegt dann keine Lärmkumulation im Sinne des gleichzeitigen Einwirkens an einem Immissionsort vor, im Untersuchungsgebiet wirken beide Verkehrsträger jedoch ein. Eine Findung gemeinsamer Maßnahmen kann auch in diesem Fall über das beschriebene Verfahren erfolgen.

Besonderheit: Prüfverfahren für mehr als zwei Quellen

Bei mehr als zwei relevanten Quellen erfolgt die Auswertung über mehrere Diagramme zur Pegelverteilung. Bei drei Quellen werden dabei mindestens zwei Diagramme erstellt, jeweils mit einem gemeinsamen Verkehrsträger, es können aber auch alle Kombinationen in eigenen Diagrammen dargestellt werden. Bei zwei Diagrammen bietet sich eine Gruppierung und farbliche Darstellung in Abhängigkeit von der Schwellenwertüberschreitung der jeweils dritten Quelle an (Quelle 3: „Schwellenwert überschritten ja/nein“). Ein Beispiel ist in Bild 71 dargestellt.

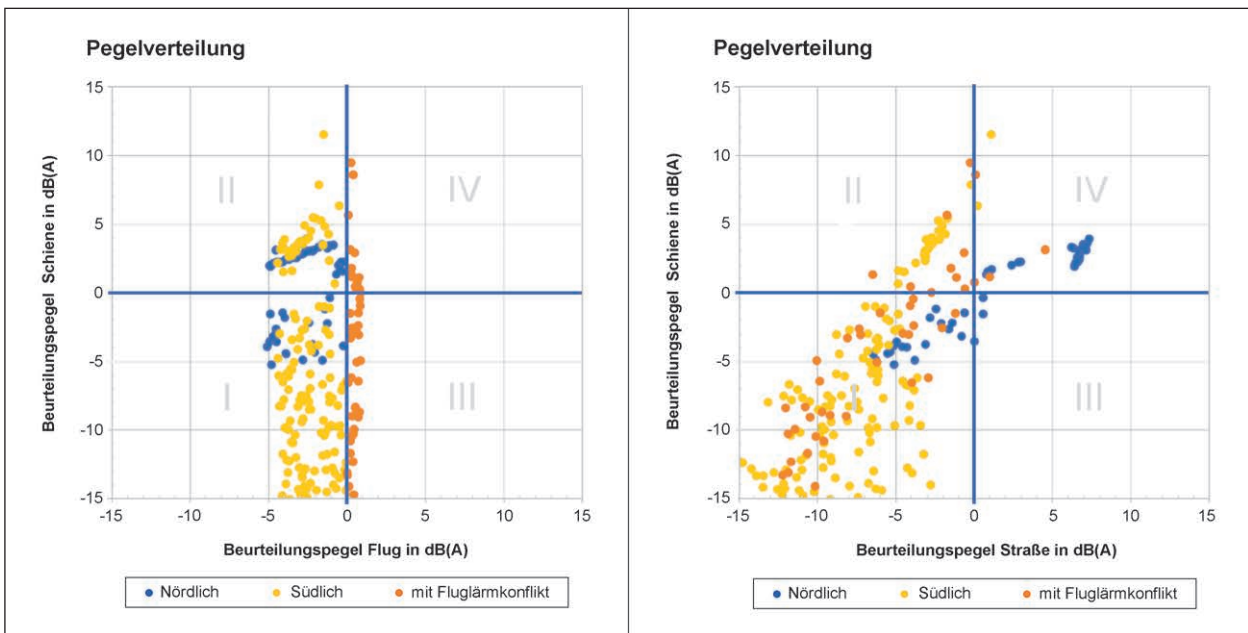


Bild 71: Pegelverteilung Schiene-Flug (links) und Straße-Schiene (rechts)

Schritt 2: Zielbestimmung für Immissionsorte/ Gruppen

Für die Immissionsorte bzw. Gruppen werden jeweils Minderungsziele für die einzelnen Quellen definiert. Hierzu kann jeweils die höchste Überschreitung pro Quelle herangezogen werden, einzelne Ausreißer können jedoch für einen ersten Prüfschritt übergangen werden (wenn z. B. passive Maßnahmen für einzelne Nutzungen in Erwägung gezogen werden).

Schritt 3: Ableiten von Lärmschutzmaßnahmen

Aus der Zielbestimmung lassen sich die notwendigen Lärmschutzmaßnahmen für eine erste Prüfung ableiten. Die folgenden Schritte der Maßnahmenprüfung können wiederholt durchgeführt werden, bis geeignete Maßnahmen identifiziert wurden.

Schritt 4: Maßnahmenprüfungen mit Berechnung und Bewertung

In der ersten Durchführung bietet es sich an, Maßnahmen gezielt nur an einzelnen Quellen und optimiert auf einzelne Konfliktlagen (Gruppen von Immissionsorten) vorzusehen. Damit lässt sich die jeweilige (Teil-)Wirkung einer Maßnahme feststellen. Kombinationen von Maßnahmen (z. B. von emissionswirksamen und abschirmenden Maßnahmen) sollten erst in einem zweiten Durchlauf untersucht werden.

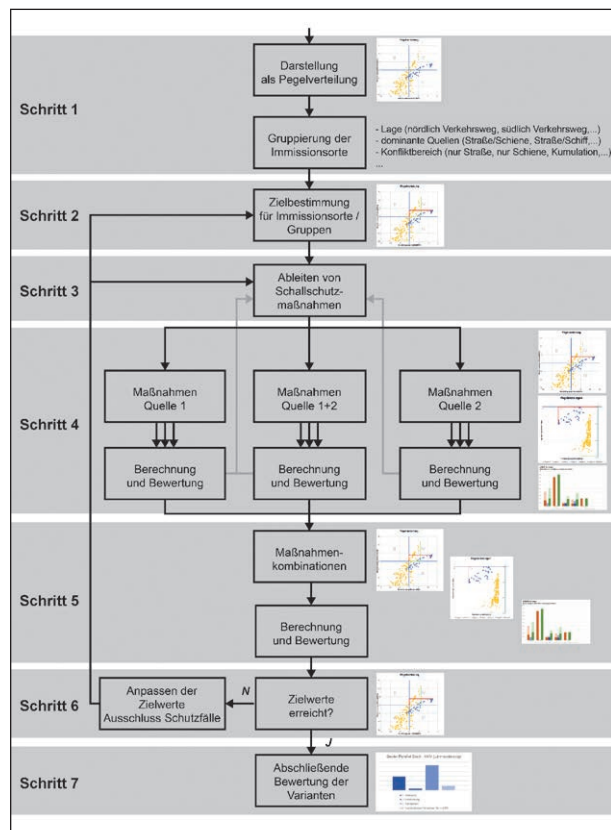


Bild 72: Verfahrensschritte zur Lärminderung bei Lärmkumulation Verfahren Lärmkumulation

Emissionswirksame Maßnahmen können in der Regel ohne eine detaillierte Immissionsberechnung mit bereits guter Zuverlässigkeit abgeschätzt werden, sofern keine weiteren Quellen (z. B. weitere

Straßen/Schienen ohne Maßnahmen) auf die Immissionsorte einwirken. Eine Emissionsveränderung bedeutet immer eine Verschiebung im Pegeländerungs-Diagramm parallel zu den Achsen. Sofern die Höhe der Emissionsminderung abhängig von der Verkehrszusammensetzung ist (z. B. beim Schienenverkehr nach Schall03 fahrzeugabhängig), sollte für den untersuchten Verkehrsweg die Emissionsminderung anhand der Änderung der Emissionspegel ermittelt werden.

Ergänzend zu emissionswirksamen Maßnahmen sollten auch z. B. abschirmende Maßnahmen einer Prüfung unterzogen werden. Bei abschirmenden Maßnahmen sind (bei entsprechender Lage der Abschirmung) Effekte auf beide Lärmquellen zu erwarten. Für eine erste Wirkungseinschätzung und Dimensionierung können Erfahrungswerte (z. B. anhand der Beispiele in Kapitel 3.4.1.1 und 3.4.1.2) herangezogen werden.

Für jede Maßnahmenvariante erfolgt nach einer Berechnung eine Bewertung anhand von vorher festgelegten Kennwerten. Grundsätzlich kommen alle Methoden einer Wirkungsbewertung in Frage, die im Rahmen von Nutzen-Kosten-Analysen angewandt werden (siehe z. B. Kapitel 3.3.1.2). Es bieten sich für eine schnellere Bewertung jedoch auch zum Teil einfachere Kenngrößen mit dem Maß einer Zielerreichung ohne (verbleibende Schutzfälle) oder mit Gewichtung (LärmKennZiffer-Methode (LKZ), siehe Kapitel 3.3.1.2 bzw. Lästigkeitsmaß (LKM), siehe Kapitel 3.3.2.3) an.

Schritt 5: Maßnahmenkombinationen mit Berechnung und Bewertung

Sofern mit einer einzelnen Maßnahmenvariante noch keine vollständige Konfliktlösung gefunden wurde, können einzelne Maßnahmen kombiniert, berechnet und bewertet werden. Je nach Dimensionierung der Maßnahmen können so zwei getrennt geprüfte Maßnahmen in ihrer kombinierten Wirkung eine Zielerfüllung ermöglichen.

Die Berechnung kann unter Umständen entfallen, wenn emissionswirksame Maßnahmen geprüft wurden. Da die Immissionen anderer Quellen hiervon unbeeinflusst sind, können die jeweiligen Teilberechnungsergebnisse der Quellen kombiniert werden.

Schritt 6: Prüfung auf Zielerreichung/Änderung der Zielwerte

Wenn die Zielwerte mit den Maßnahmen und auch den möglichen Kombinationen noch nicht erreicht wurden, erfolgt eine Prüfung der verbleibenden Konfliktfälle.

Einzelne Schutzfälle, für die unter Umständen nur mit unverhältnismäßigem Aufwand ein aktiver Lärmschutz zu realisieren ist, können aus der Betrachtung herausgenommen werden. Es empfiehlt sich, diese einer gesondert betrachteten Gruppe im Diagramm zuzuweisen. Zur Prüfung der Zielerfüllung werden diese nicht herangezogen, eine Maßnahme kann aber trotzdem hinsichtlich dieser Fälle optimiert werden, um den notwendigen passiven Lärmschutz zu minimieren.

Für die verbleibenden Gebäude wird die Ableitung von Lärmschutzmaßnahmen erneut durchgeführt (Schritt 3-5) und eine Prüfung auf Zielwerte durchgeführt (Schritt 6).

Für den Fall, dass auch mit wiederholter Prüfung ein weitreichender Schutz nicht oder nicht wirtschaftlich möglich ist, kann auch im Schritt der Zielbestimmung neu angesetzt werden (Schritt 2). Dies kann insbesondere dann der Fall sein, wenn der bisherige Zielwert kein Grenz-, sondern eher ein Orientierungswert ist. In diesem Fall ist eine kritische Abwägung zu erstellen.

Eine erneute Prüfung von Maßnahmen muss auch dann in Betracht gezogen werden, wenn keine der Maßnahmen ein ausreichendes Nutzen-Kosten-Verhältnis aufweist.

Schritt 7: Zielwerte erreicht/Abschließende Bewertung der Varianten

Wenn die zuvor im Verfahren gesetzten Zielwerte erreicht werden, sollte eine abschließende Bewertung der Varianten erfolgen. Hierzu ist auch eine Nutzen-Kosten-Abwägung zu treffen.

6 Exemplarische Anwendung des Leitfadens

Das im Leitfaden (Kapitel 5) beschriebene Verfahren wurde exemplarisch an zwei Modellgebieten angewandt. Im Rahmen des Projektes wurden insgesamt zwölf Modellgebiete erstellt, aus denen diese ausgewählt wurden.

Eine ausführliche Anwendung des Verfahrens soll zum einen in einem ländlichen Gebiet mit parallelen Quellen demonstriert werden. Hierbei werden alle genannten Verfahrensschritte vollständig durchlaufen mit dem Ziel, eine Konfliktlösung für alle schutzbedürftigen Gebäude zu erreichen (Kapitel 6.1).

Zum anderen werden für das Messgebiet (Kapitel 2.3.1), nach Ergänzung von fiktiver Bebauung, verschiedene Kombinationen von Maßnahmen sowie die Auswirkungen auf die Diagramme der Pegelverteilung und Pegeländerung dargestellt (Kapitel 6.3).

Exemplarisch wird das Verfahren auch für eine abweichende Bewertung (Kapitel 6.2) und von den RLS-90 und Schall03 abweichende Berechnungsvorschriften angewandt (Kapitel 6.4).

Für den Leitfaden existiert keine Vorgabe zur Methode des Wirkungs- und Nutzen-Kosten-Vergleichs. Je nach Anwendungsfall kann eine für den speziellen Fall geeignete oder vorgegebene Methode ausgewählt werden (siehe auch Kapitel 4.3). In der exemplarischen Anwendung in den folgenden Kapiteln werden beispielhaft mehrere Methoden angewendet. Die Wirkung einer Maßnahme wird exemplarisch nach der LKZ ermittelt (siehe auch Kapitel 3.3.1.2). Zur Wirkungsbetrachtung sind auch andere Methoden, wie das Lästigkeitsmaß der DEGES-Methode (siehe Kapitel 3.3.2.3), anwendbar. Das Nutzen-Kosten-Verhältnisses (NKV) wird in den jeweiligen Bewertungsschritten sowohl nach „Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Lärmsanierung an Schienenwegen“ als auch nach dem Kostenverteilungsansatz des UBA mit dem Bewertungsindex „EBI“.

6.1 Modellgebiet paralleler Quellen im ländlichen Bereich

6.1.1 Gebietsbeschreibung

In Anlehnung an das vereinfachte Modell paralleler Quellen, für das eine theoretischen Prüfung ver-

schiedener Lärmschutzvarianten in Kapitel 3.4.1.2 beschrieben wurde, wird auch ein Modellgebiet mit Bebauung für eine „einfache“ parallele Lage einer hochbelasteten Bundesfernstraße sowie einer hochbelasteten Bahnstrecke entworfen.

Das Modellgebiet zeigt die Schienenstrecke parallel zur Straße (siehe Bild 73). Beide liegen auf gleichem Geländeneiveau. Da keine Kreuzungen auftreten, sind abschirmende Maßnahmen jeweils grundsätzlich ohne Unterbrechung möglich. Abschirmende Maßnahmen nördlich der bestehenden Straße wurden trotz der Wohnbebauung und einer dort ggf. notwendigen Erschließung untersucht. Neben der hochbelasteten Straße wird auch das weitere Straßennetz berücksichtigt. Es wurden weder Quellen des Flugverkehrs noch des Schiffsverkehrs modelliert, es ist von keinen relevanten Immissionen dieser Verkehrsträger auszugehen. Die Lage der Gebäude, der Quellen sowie des Untersuchungsgebietes sind in Bild 73 dargestellt.

6.1.2 Vorprüfung

Für das Modellgebiet wird zuerst die Vorprüfung nach den in Kapitel 5.1 beschriebenen Schritten durchgeführt.

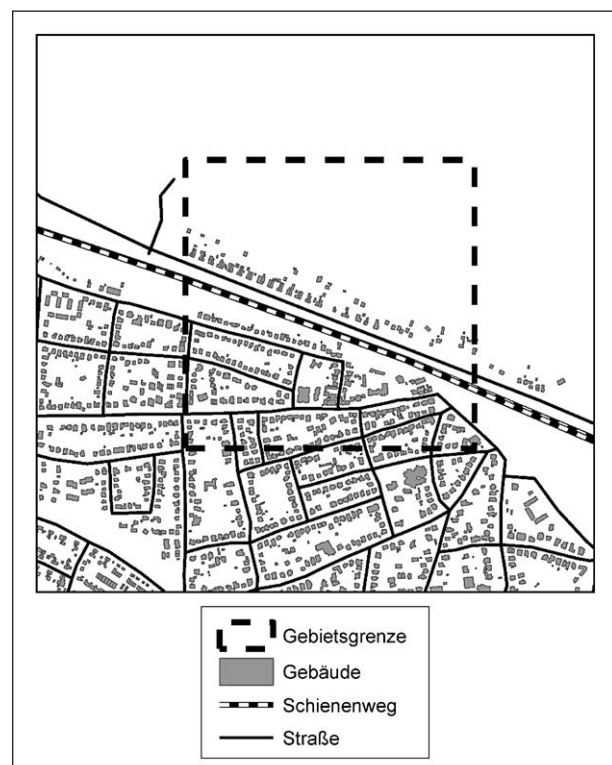


Bild 73: Modellgebiet „Land“ – Lageplan mit Gebietsabgrenzung

6.1.2.1 Schritt 1: Gebietsabgrenzung

Die Gebietsabgrenzung wird hier als Ausschnitt des Modells gewählt (siehe Bild 73). Es wird der Bereich gewählt, in dem nördlich der modellierten Straße eine Bebauung vorliegt und südlich der Schienenstrecke ebenfalls in größerer Nähe Bebauung existiert. Insbesondere an diesen Gebäuden ist eine Lärmkumulation zu erwarten.

6.1.2.2 Schritt 2: Lärmberechnung getrennt nach Lärmarten

Die Berechnungen wurden getrennt für die Lärmarten Straßen- und Schienenverkehrslärm an den Fassaden der schutzbedürftigen Gebäude durchgeführt. Die Beurteilungspegel, getrennt nach Straßen- und Schienenverkehr, sind bezogen auf den Schwellenwert in Bild 75 dargestellt. In Rot sind jene Gebäude gekennzeichnet, bei denen der Schwellenwert durch eine Quelle überschritten wird. Zur vereinfachten Darstellung des Verhältnisses von Straßen- zu Schienenverkehrslärm im Rahmen der exemplarischen Anwendung wird ergänzend zu den im Leitfasden beschriebenen Schritten eine energetische Addition durchgeführt und der Anteil des Straßenverkehrslärms an diesem Gesamtlärm ermittelt. In Bild 74 sind die berechneten

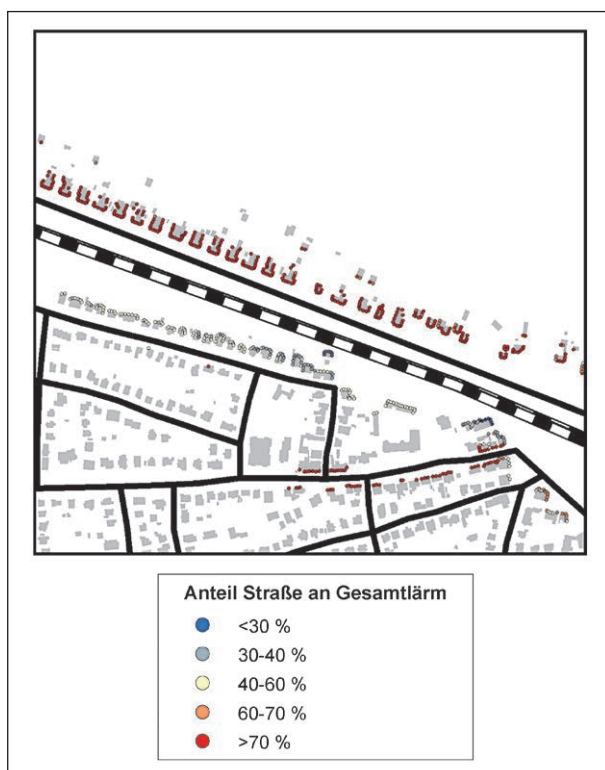


Bild 74: Anteil des Straßenverkehrs am Gesamtlärm (Fassadenpunkte mit Gesamtpegel größer Schwellenwert)

Fassadenpunkte dargestellt, sofern der Schwellenwert für den Gesamtlärm überschritten ist.

6.1.2.3 Schritt 3: Konkretisierung des Untersuchungsgebiets

Nach Durchführung der Lärmberechnung ist das Untersuchungsgebiet anzupassen. Sofern auch in

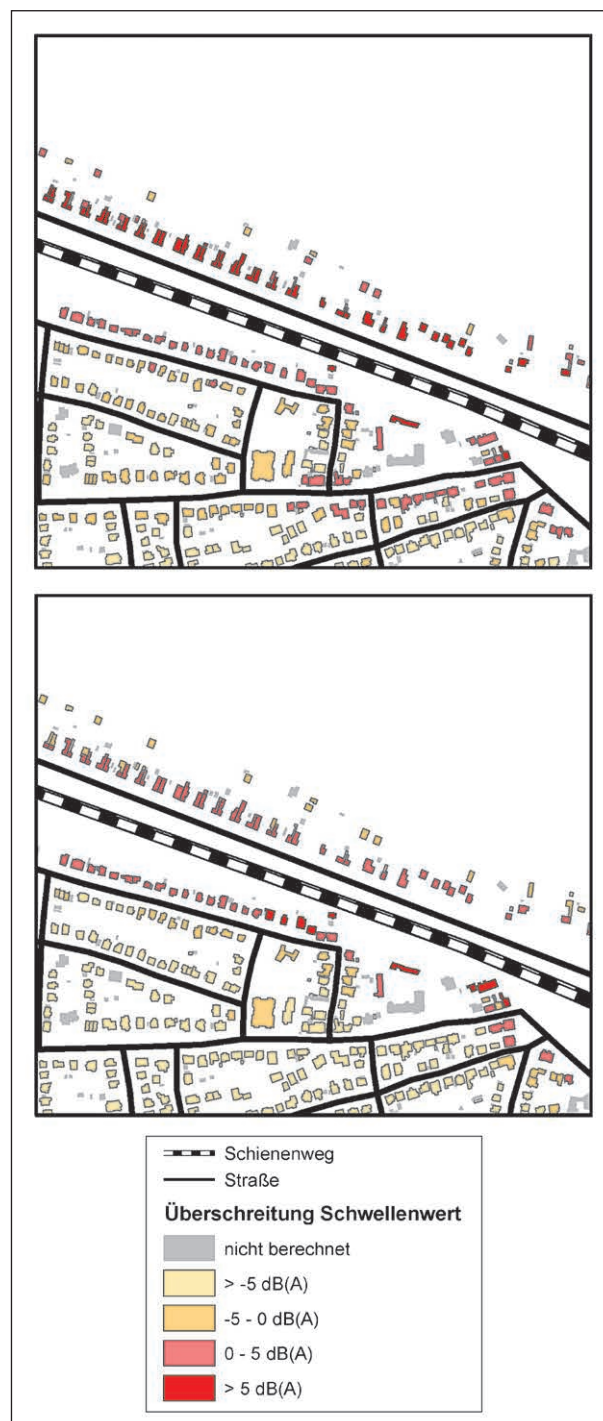


Bild 75: Beurteilungspegel Straßenverkehr (oben) und Schienenverkehr (unten), dargestellt ist jeweils der maximale Pegel pro Gebäude

den Randbereichen des Gebiets eine relevante Belastung durch mehrere Verkehrsträger ermittelt wird, ist ggf. auch der Modellbereich zu vergrößern. Es zeigt sich in Bild 75, dass der Schwellenwert weitgehend um nicht mehr als 5 dB unterschritten wird. Nach der Maßgabe der Vorprüfung wäre außerhalb des Untersuchungsgebiets mit einer Lärmkumulation zu rechnen. Auf eine Umsetzung der Konkretisierung wird in diesem vereinfachten Beispiel verzichtet.

6.1.2.4 Schritt 4: Prüfung auf Dominanz durch Flug- und Schiffsärm

Da für Flug- und Schiffsverkehrslärm keine Quellen modelliert wurden, werden keine relevanten Beurteilungspegel ermittelt. Es liegt keine Dominanz vor, daher kann das Verfahren zur Lärmkumulation für zwei Quellen angewandt werden.

6.1.3 Darstellung und Gruppierung (Schritt 1)

Ausgehend von den Berechnungsergebnissen werden die Beurteilungspegel der einzelnen Fassadenpunkte ausgewertet. Zur Reduzierung der zu betrachtenden Immissionsorte wird hier für jedes Gebäude nur der Immissionsort mit dem maximalen Beurteilungspegel jeweils aus Straßen- und Schienenverkehrslärm berücksichtigt.

Die Pegelverteilung ist in Bild 76 dargestellt. Hierbei ist bereits die Gruppierung der Immissionsorte berücksichtigt, die ausgehend von der Lage des Immissionsortes zu den Quellen getroffen wurde:

- Nördlich (blaue Punkte)
Die Gebäude nördlich der Hauptverkehrswege weisen fast durchgängig Überschreitungen des Schwellenwertes durch Straßenverkehrslärm auf. Rund die Hälfte der Gebäude ist auch durch Schienenverkehrslärm relevant belastet. Die Überschreitungen durch Straßenverkehr (bis zu 12 dB(A)) liegen deutlich über denen des Schienenverkehrs (bis zu 4 dB(A)).
- Südlich (gelbe Punkte)
Die Gebäude südlich der Verkehrswege sind wesentlich durch Schienenverkehrslärm belastet. Der Schwellenwert wird um bis zu 12 dB(A) überschritten. Die Überschreitungen durch Straßenverkehrslärm liegen deutlich darunter (bis zu 6 dB(A)).

Grundsätzlich zeigt sich der Beitrag des Straßenverkehrs an der Lärmbelastung: Es gibt kaum Ge-

bäude, bei denen ausschließlich relevanter Schienenverkehrslärm vorliegt. Daher weist der Bereich II auch nur einen Eintrag nahe der Schwellenwerte auf. Im Bereich III sind hingegen nur wenige Gebäude zu verzeichnen, die den Schwellenwert um mehr als 3 dB überschreiten. Höhere Überschreitungen des Schwellenwertes durch Straßenverkehrslärm treten größtenteils mit einer gleichzeitigen Überschreitung durch Schienenverkehrslärm auf (Bereich IV).

6.1.4 Zielbestimmung und Ableiten von Lärmschutzmaßnahmen (Schritte 2 und 3)

Ausgehend von den Ergebnissen in Bild 76 werden folgende Ziele definiert:

- Für die Gebäude der Gruppe „Südlich“ (Gelb) muss der Schienenverkehrslärm um 12 dB gemindert werden, der Straßenverkehrslärm um 6 dB um Schwellenwerte einzuhalten.
- Für die Gebäude der Gruppe „Nördlich“ (Blau) muss der Schienenverkehrslärm um 4 dB gemindert werden, der Straßenverkehrslärm um 12 dB um die Schwellenwerte einzuhalten.

Hieraus lassen sich bereits erste Schlussfolgerungen für möglichen Lärmschutz ziehen. Die jeweilige Dominanz einer Quelle nördlich bzw. südlich an den höchstbelasteten Gebäuden legt nahe, jeweils diese Quelle in der jeweiligen Richtung bevorzugt abzuschirmen. Richtung Norden liegt der Schwerpunkt somit in einer Minderung des Straßenver-

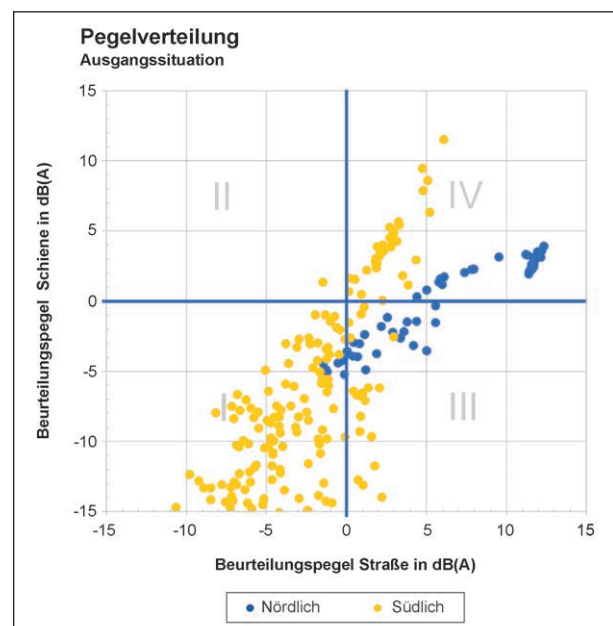


Bild 76: Pegelverteilung Ausgangssituation

kehrslärms, Richtung Süden auf dem Schienenverkehrs-lärm.

Die Höhe der notwendigen Pegelminderung weist darauf hin, dass allein emissionswirksame Maßnahmen nicht ausreichen. Somit scheinen Abschirmungen unumgänglich, diese werden vorrangig geprüft.

Zusammenfassend werden für den ersten Prüfschritt die folgenden möglichen Maßnahmen identifiziert:

- Lärmschutzwände auf beiden Seiten der Schienenstrecke,
- Lärmschutzwände südlich der Bahn und nördlich der Straße,
- Lärmarmer Straßenbelag.

6.1.5 Erste Maßnahmenprüfung (Schritt 4)

6.1.5.1 Variante 1: Wände an der Schienenstrecke

Als erste Maßnahmenvariante soll eine Abschirmung geprüft werden, die beidseitig der Bahnstrecke realisiert wird (in Bild 77 in Rot dargestellt). Mit jeweils 4 m hohen hochabsorbierenden Wänden ist

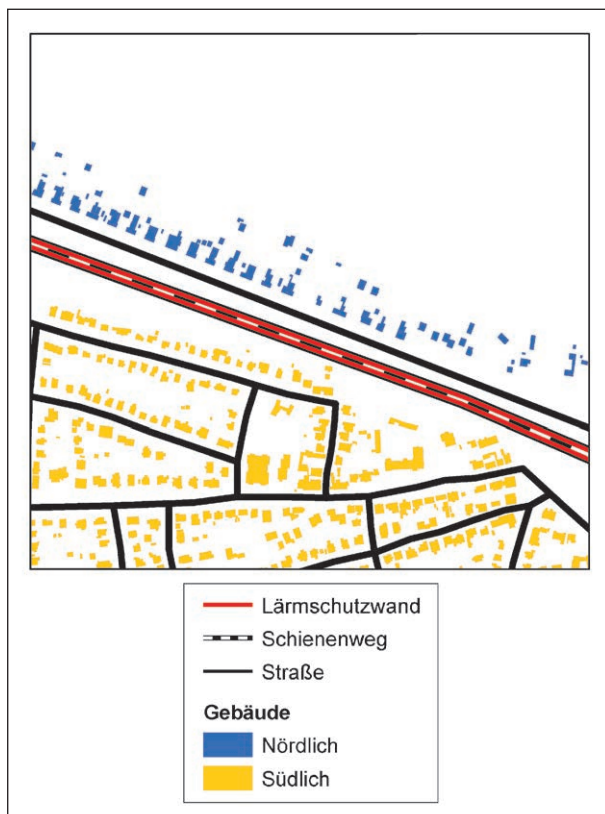


Bild 77: Lageplan Maßnahmen Gebiet „Parallel Land“ – Variante 1

ein guter Schutz vor dem Schienenverkehrslärm zu erwarten. Die Wände werden mit entsprechendem Überhang auch außerhalb des Modellgebietes modelliert.

Die Wirkung der Abschirmung bezieht sich für die Gebäude nördlich der Schiene nur auf den Schienenverkehr. Der Straßenverkehrslärm wird, wie zu erwarten, nicht reduziert. Aufgrund der Reflexionen in der Berechnung des Straßenverkehrslärms nach RLS-90 auch an einer hochabsorbierenden Wand hingegen sogar leicht erhöht (siehe Bild 79).

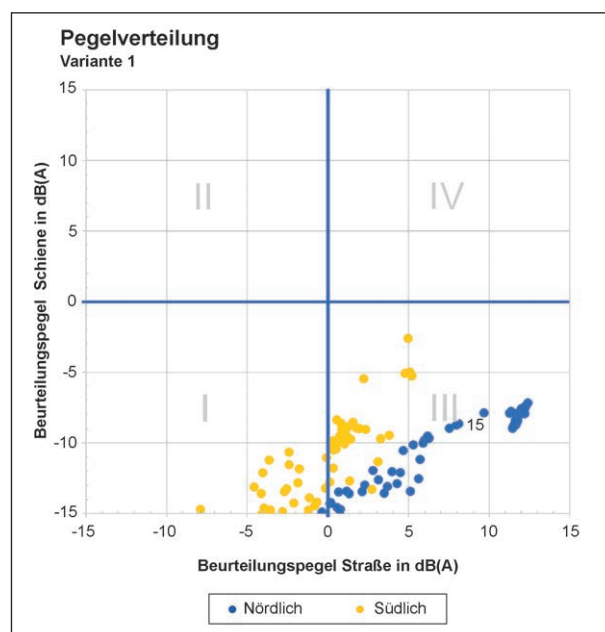


Bild 78: Pegelverteilung Variante 1

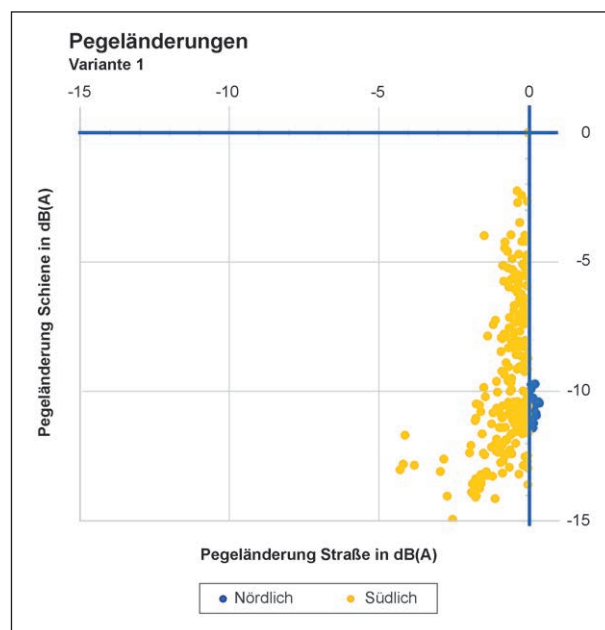


Bild 79: Pegelveränderungen Variante 1

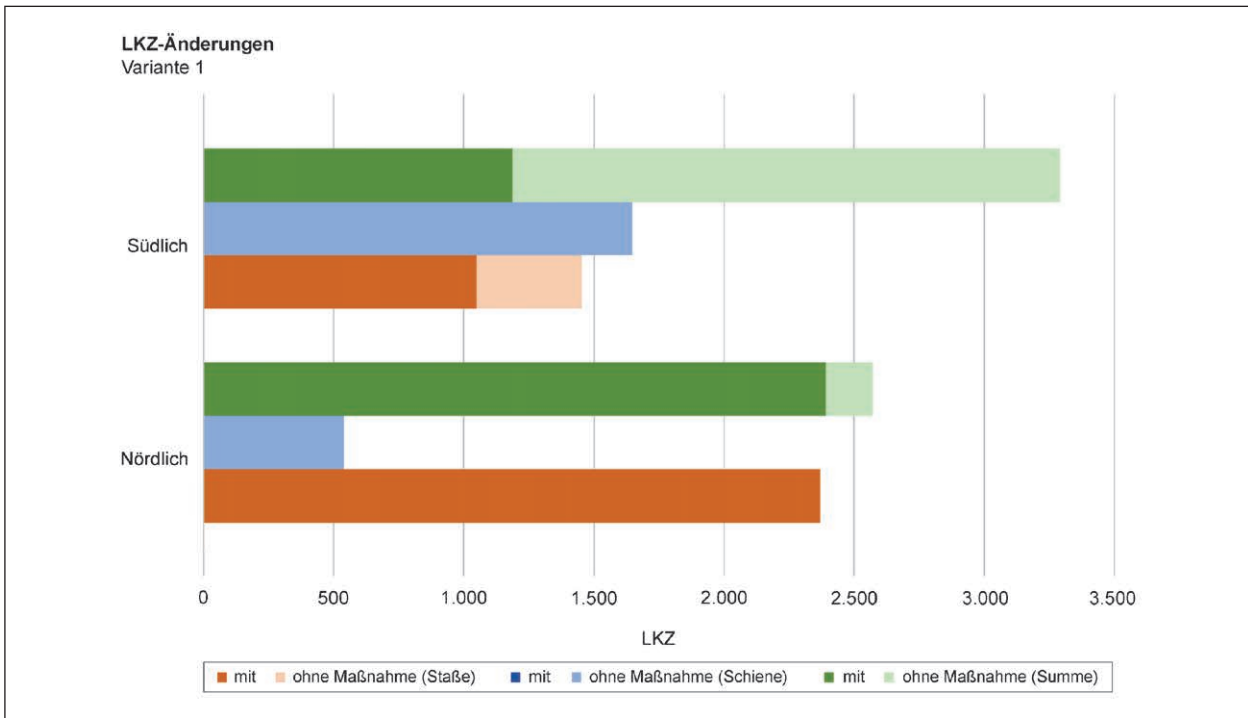


Bild 80: LKZ-Änderungen Variante 1

Die Konflikte mit dem Straßenverkehrslärm werden somit nicht behoben (Bild 78, Bereich III). Für den Schienenverkehr wird hingegen mit der Maßnahme der Schwellenwert deutlich unterschritten.

Der Effekt der Maßnahme zeigt sich auch in der Wirkungsbetrachtung, die exemplarisch nach LKZ durchgeführt wurde (Bild 80). Für die Gebäude nördlich der Bahnstrecke ergibt sich nur eine geringe Minderung der Gesamtbelastung, die durch die Minderung des Schienenverkehrslärms bewirkt wird.

Für die Gebäude südlich der Bahnstrecke ist nach Durchführung der Maßnahme fast ausschließlich der Straßenverkehrslärm für die verbleibende Gesamtbelastung verantwortlich. Durch den Lärmschutz an der Schienenstrecke kann ein Teil des Straßenverkehrslärms jedoch gemindert werden, da die Immissionsorte gegenüber der hochbelasteten Straße ebenfalls abgeschirmt werden.

6.1.5.2 Variante 2: Wände an Schiene (4 m) und Straße (3 m)

Zur Verbesserung der Abschirmung gegen Straßenverkehrslärm wird die nördliche Wand gegenüber der vorherigen Variante parallel zur Straße gewählt. Mögliche Konflikte mit einer notwendigen Erschließung werden hier nicht berücksichtigt. Ge-

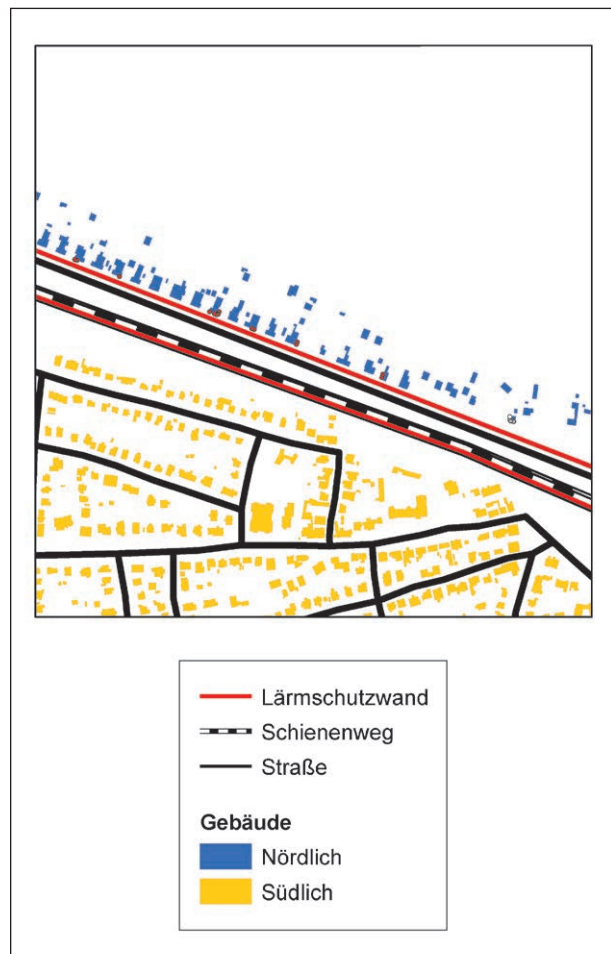


Bild 81: Lageplan Maßnahmen Gebiet „Parallel Land“ – Variante 2, 4, 5, 8

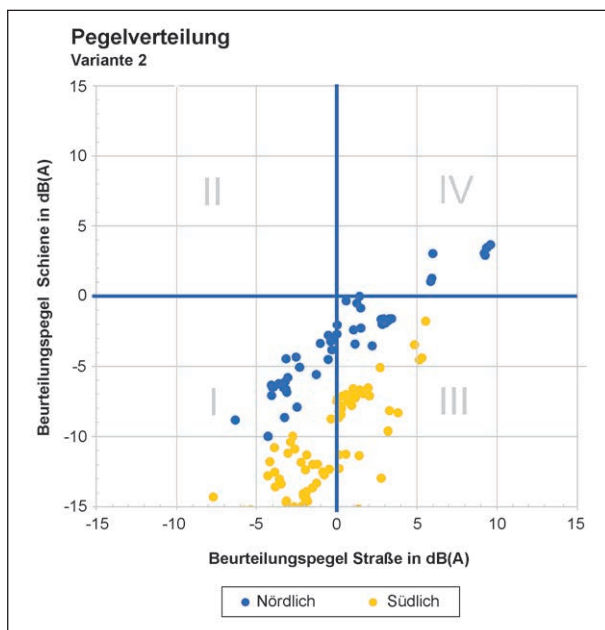


Bild 82: Pegelverteilung Variante 2

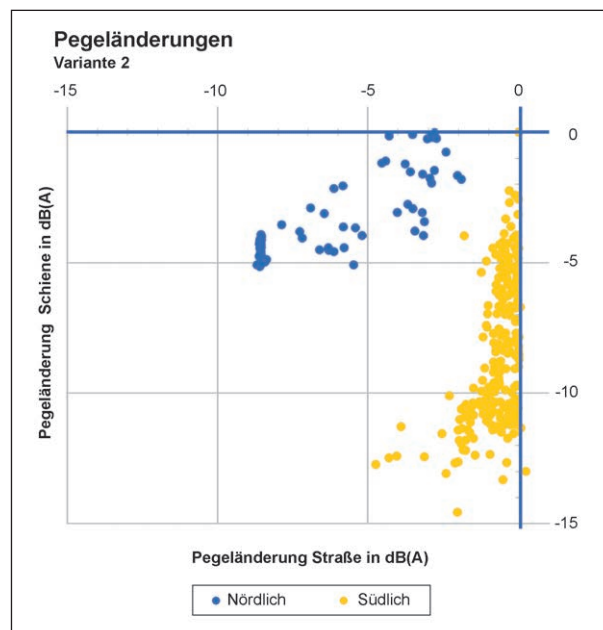


Bild 83: Pegelveränderungen Variante 2

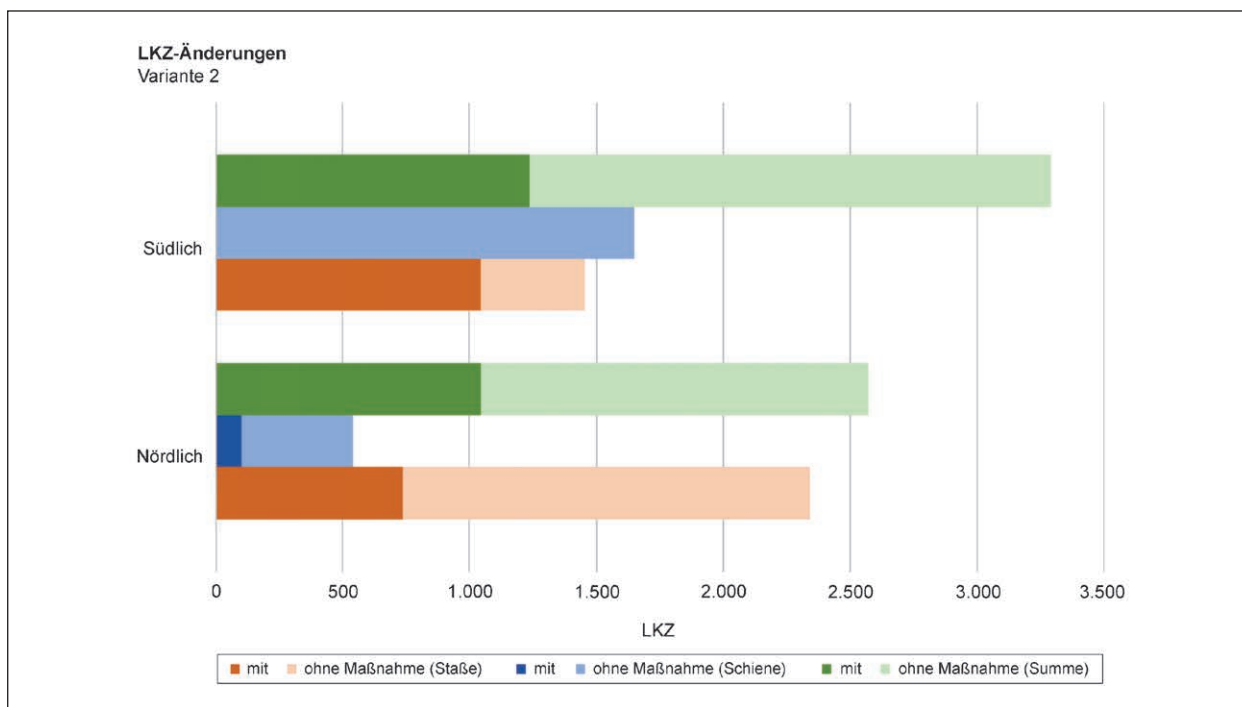


Bild 84: LKZ-Änderung Variante 2

prüft wird zuerst eine Wand mit einer Höhe von 3 m über Straßengradiente.

Im Vergleich zur vorherigen Variante zeigt sich, dass mit der Abschirmung an der Straße die Beurteilungspegel an der nördlichen Bebauung deutlich sinken. Für die Gebäude nördlich ist die Wirkung bezogen auf den Straßenverkehrslärm stärker, für die Gebäude südlich für den Schienenverkehrslärm (Bild 83).

Für die Gebäude südlich zeigt sich bei der Gesamtbetrachtung nach LKZ (Bild 84), dass die Wirkung bezogen auf den Straßen- und Schienenverkehr verglichen mit Variante 1 fast identisch bleibt (vgl. Bild 80). Für die Gebäude nördlich ergibt sich jedoch eine deutliche Verbesserung hinsichtlich des Straßenverkehrslärms, allerdings auf Kosten eines geringfügig höheren Schienenverkehrslärms (ebenfalls vgl. Bild 80 und 84).

6.1.5.3 Variante 3: Lärmarmen Straßenbelag

Für die Bundesfernstraße wird als Maßnahme zur Emissionsminderung (siehe Kapitel 3.4.2) ein lärmarmen Straßenbelag geprüft. Dieser kann eine Pegelminderung von 2 bis 5 dB, je nach Ausführung und vorherigem Straßenbelag, bewirken (siehe Kapitel 3.4.2.2). Auf eine Berechnung und Darstellung wird verzichtet, da für die Emissionsminderung eine Verschiebung der Punkte entlang der x-Achse um die angesetzte Minderung zu erwarten ist. Aus der Pegelverteilung ohne Maßnahmen (Bild 76) lässt sich ableiten, dass mehrere Konflikte mit Straßenverkehrslärm entfallen. Es verbleiben jedoch Überschreitungen, insbesondere bei hohen Schienenverkehrslärmpegeln.

6.1.6 Erste Kombination und Bewertung (Schritt 5)

Da mit den geprüften Maßnahmen die Beurteilungspegel die Zielwerte noch nicht vollständig erreicht haben, werden mögliche Maßnahmenkombinationen geprüft.

6.1.6.1 Variante 4: Abschirmung an Schiene (4 m) und Straße (3 m) + Fahrbahn

Als Alternative zu Variante 2 in Kombination mit Variante 3 wird eine zusätzliche Ausstattung der Straße mit einem lärmarmen Belag geprüft. Es wird

eine Minderung von 5 dB(A) angesetzt, wie sie mit einem offenporigen Asphalt erreicht werden kann.

Die Ergebnisse zeigen wie erwartet eine Verschiebung der Beurteilungspegel des Straßenverkehrslärms um -5 dB(A) (Bild 85 und 86). Es ergibt sich eine deutliche Verbesserung im Vergleich zur Variante 2 (vgl. Bild 84 und Bild 87), jedoch bestehen weiterhin Konflikte mit Straßen- und Schienenverkehrslärm (Bild 85).

6.1.7 Erste Prüfung auf Zielwerterreichung (Schritt 6)

Die Prüfung der vier Varianten ergibt, dass keine Maßnahmenkombination dazu geeignet ist, die Zielwerte im Untersuchungsgebiet vollständig zu erreichen. Daher muss an dieser Stelle des Verfahrens entschieden werden, ob

- weitere Maßnahmen geprüft werden,
- die Zielwerte angepasst werden müssen oder
- die verbleibenden Überschreitungen akzeptiert und die Prüfung damit beendet wird.

Da für die Immissionsorte mit den verbleibenden Konflikten bereits relevante Minderungswirkungen erzielt wurden, wird die Prüfung mit weiteren optimierten bzw. erweiterten Maßnahmen fortgesetzt. Eine Anpassung der Zielwerte wird nicht vorgenommen.

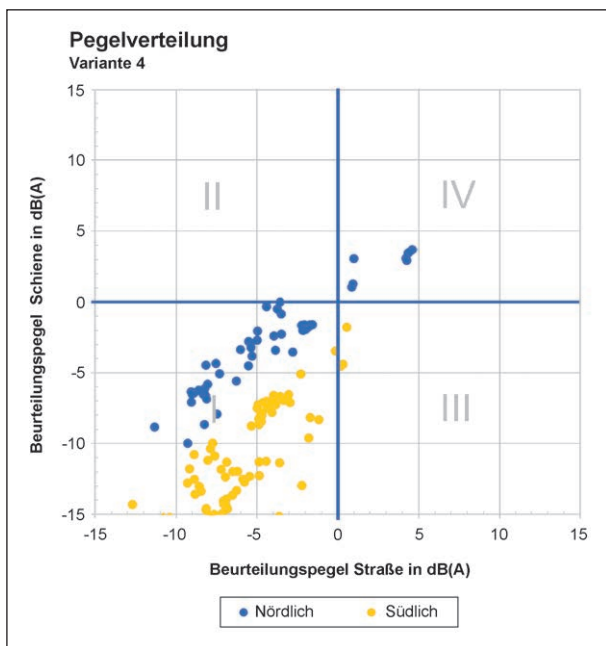


Bild 85: Pegelverteilung Variante 4

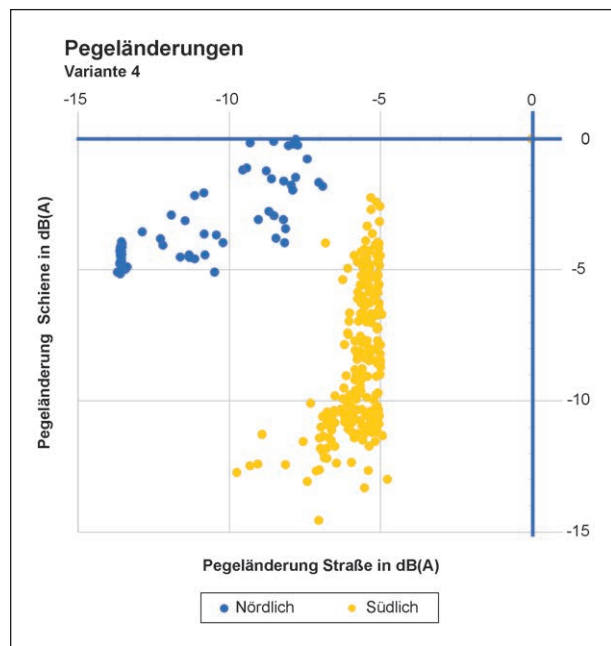


Bild 86: Pegelveränderungen Variante 4

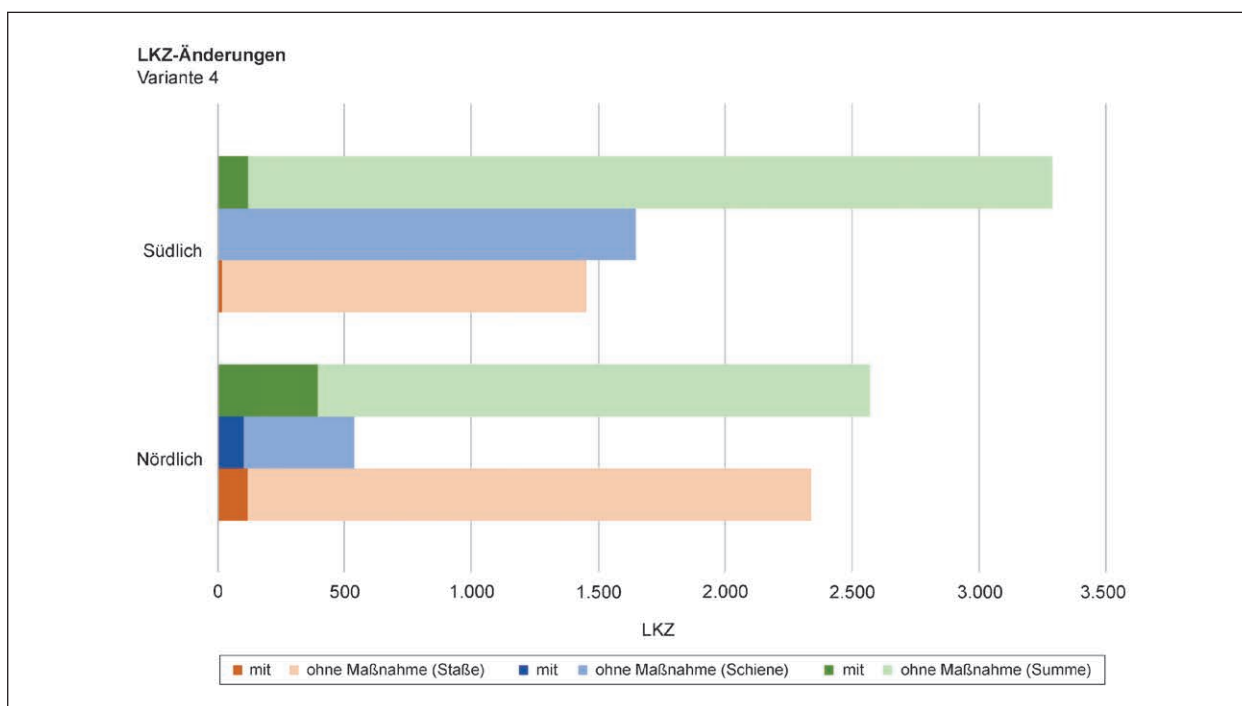


Bild 87: LKZ-Änderungen Variante 4

6.1.8 Zweite Maßnahmenprüfung (Schritt 4, Wiederholung)

Die Überschreitungen des Zielwertes betreffen sowohl den Straßen- als auch den Schienenverkehr. Mit Ausnahme von drei geringfügigen Überschreitungen des Schwellenwertes für Straßenverkehr um weniger als 1 dB bei den südlichen Gebäuden sind ausschließlich Gebäude nördlich der Quellen betroffen. Es bietet sich daher an, die Maßnahmen für diesen Bereich zu optimieren.

Folgende Maßnahmen werden bei der zweiten Maßnahmenprüfung berücksichtigt:

- Erhöhung der Wand an der Straße,
- Verlegung der Straße in Richtung der Schiene.

6.1.8.1 Variante 5: Abschirmung an Schiene (4 m) und Straße (5 m)

Zur Optimierung der Immissionssituation wird alternativ zu Variante 2 eine Wand entlang der Straße mit einer Höhe von 5 m über Straßengradiente geprüft. Bei der ersten Prüfung wird auf eine lärmmindernde Fahrbahnoberfläche verzichtet.

Die Wirkung ist nochmals höher als bei der Wand mit 3 m. Dies ist vor allem auf eine bessere Abschirmung der Immissionsorte in den höheren Geschossen zurückzuführen. Die Wirkung auf die nördlichen Gebäude nimmt stark zu (Bild 89).

Insgesamt kann für die nördlichen Gebäude der Schwellenwert fast durchgängig eingehalten werden, was sich auch in der Bewertung nach LKZ (Bild 90) zeigt. Für die südlichen Gebäude verbleiben Konflikte mit dem Straßenverkehrslärm.

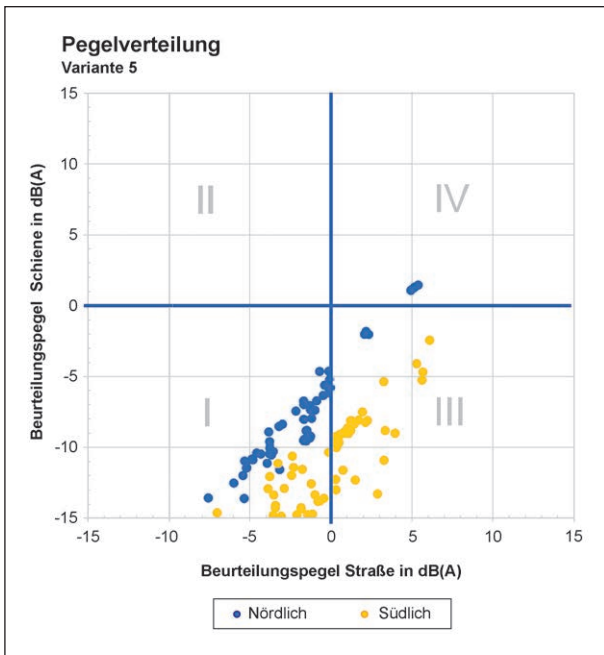


Bild 88: Pegelverteilung Variante 5

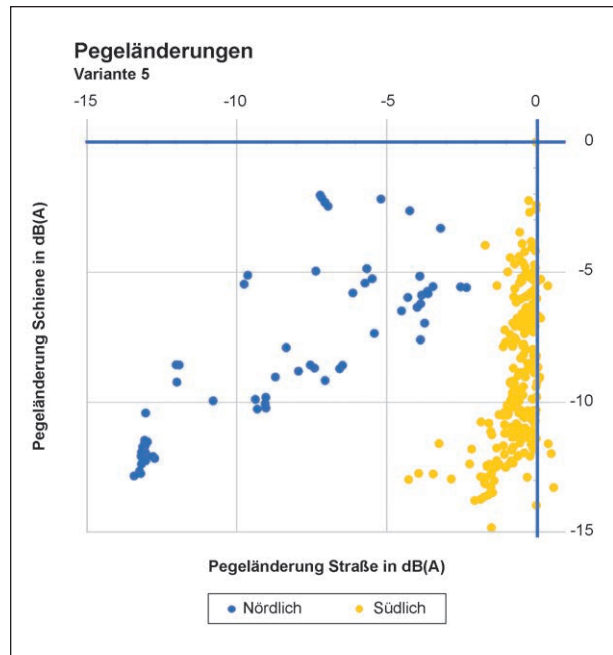


Bild 89: Pegelveränderungen Variante 5

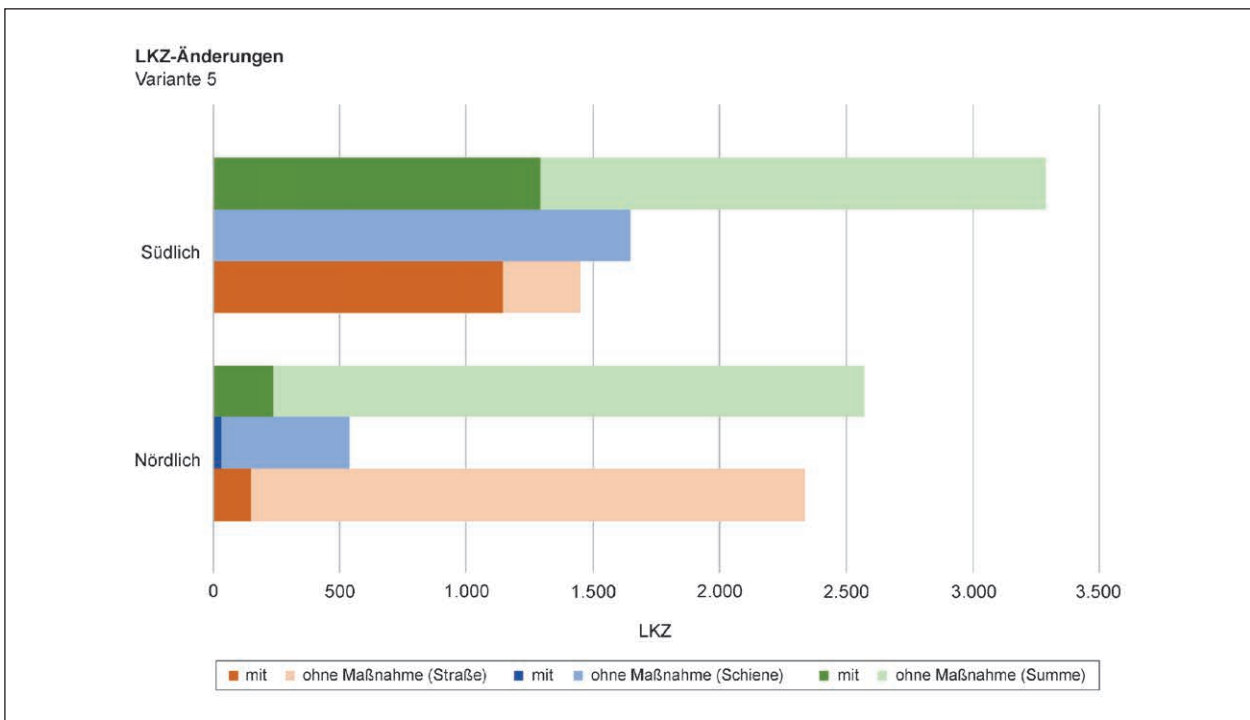


Bild 90: LKZ-Änderungen Variante 5

6.1.8.2 Variante 6: Abschirmung (4 m) und verlegte Straße

Die in Varianten 2, 4 und 5 untersuchten Wände entlang der Bebauung wären in Realität meist nur schwer umsetzbar. Die notwendige Erschließung sowie die Beeinträchtigung der Wohnqualität durch die dicht heranrückende Wand sprechen gegen solche Maßnahmen innerorts. Gleichzeitig ist die Wirkung der nördlichen Wand bezogen auf den Schienenverkehrslärm, die Wirkung der südlichen Wand hinsichtlich des Straßenverkehrslärms noch nicht ausreichend.

Eine Bündelung der Verkehrswege ermöglicht es, dass die jeweilige Quelle dichter an die Abschirmung rückt (Straße dichter an südlicher Wand für südliche Gebäude, Schiene dichter an nördlicher Wand für nördliche Gebäude).

Im Vergleich zur Variante 2 (Bild 83) zeigt sich, dass für die südlichen Gebäude die Lärminderung des



Bild 91: Lageplan Maßnahmen Gebiet „Parallel Land“ – Variante 6

Straßenverkehrs zunimmt (Bild 93). Insgesamt stellt sich die Situation besser dar als bei der Variante mit einer Wand mit einer Höhe von 3 m an der Bundesfernstraße (Bild 82).

Im Wesentlichen verbleiben Konflikte mit dem Straßenverkehrslärm. Der Schwellenwert wird um bis zu 6 dB(A) überschritten (Bild 92).

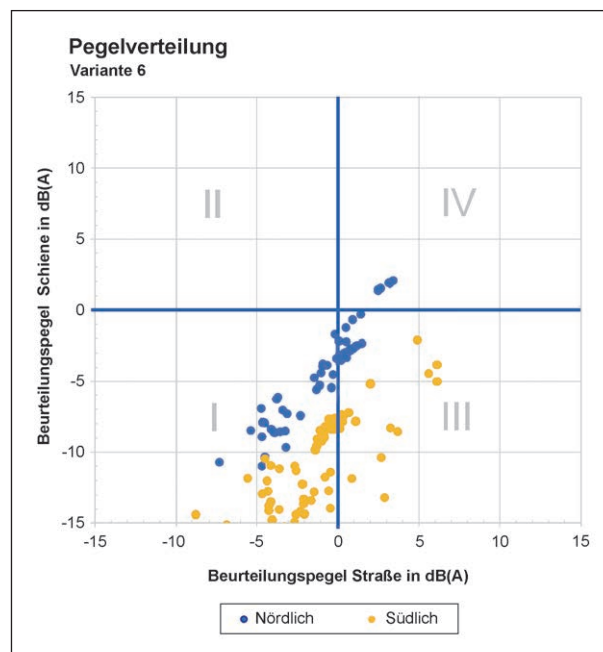


Bild 92: Pegelverteilung Variante 6

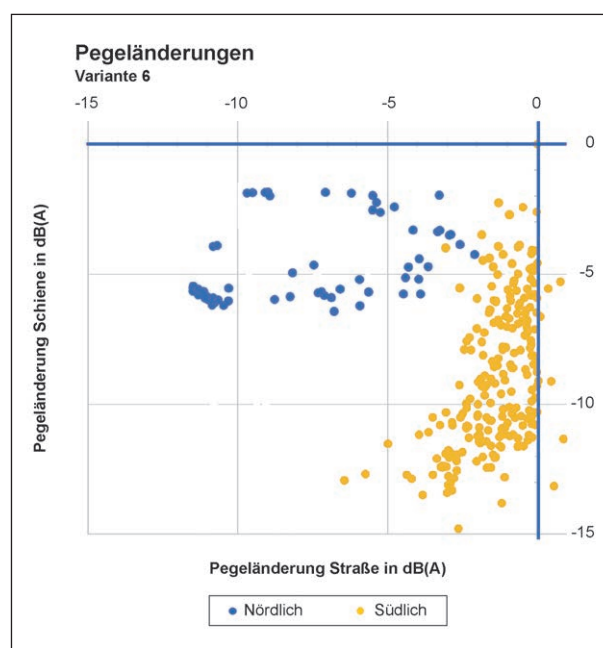


Bild 93: Pegelveränderungen Variante 6

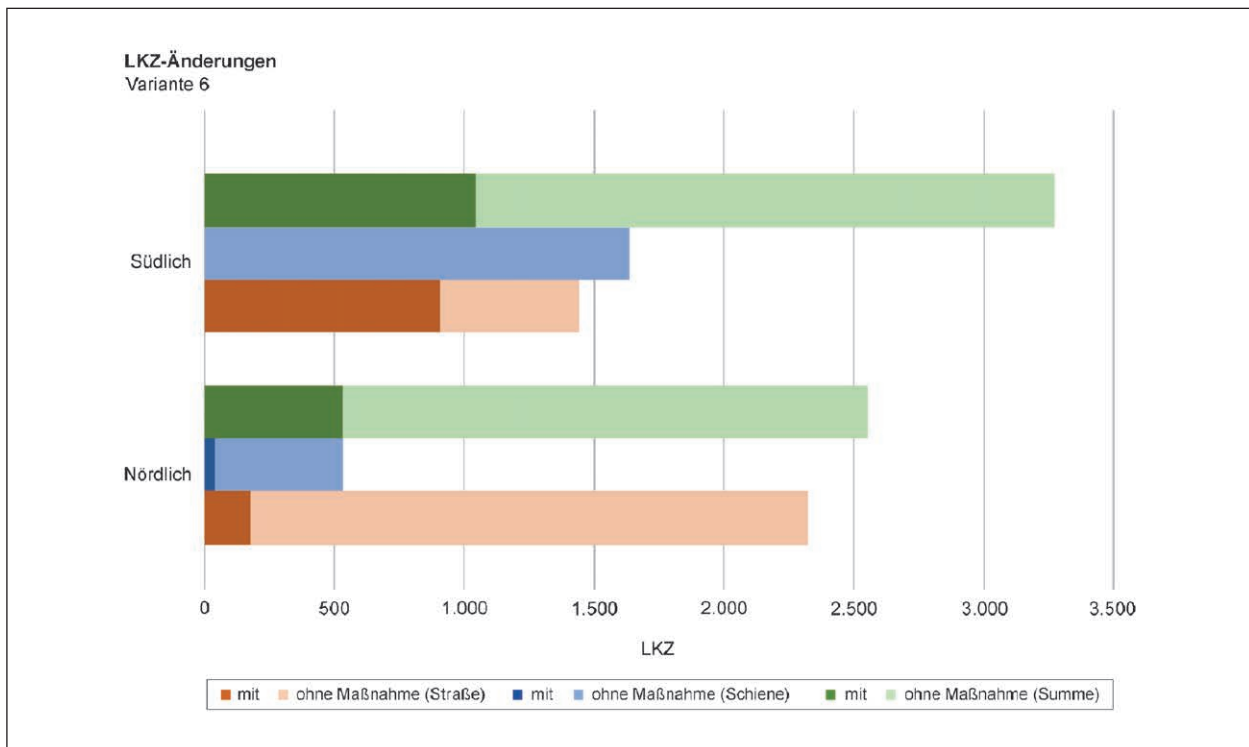


Bild 94: LKZ-Änderungen Variante 6

6.1.9 Zweite Kombination und Bewertung (Schritt 5, Wiederholung)

Sowohl Variante 5 als auch Variante 6 zeigen, dass mit weiteren emissionswirksamen Maßnahmen wie in Variante 3 eine Einhaltung der Schwellenwerte möglich ist. In Kombination der Varianten 5 bzw. 6 mit einer lärmarmen Fahrbahnoberfläche ließen sich die Zielwerte somit voraussichtlich weitestgehend einhalten.

6.1.9.1 Variante 7: Abschirmung (4 m) und verlegte Straße + Fahrbahn

In Variante 6 wurde ermittelt, dass die Konflikte bis auf eine Überschreitung des Schwellenwertes für den Straßenverkehr um rund 6 dB(A) behoben wurden. Dies legt nahe, an der Straße weitere Maßnahmen zur Minderung der Emissionen umzusetzen.

Es wird eine Minderung der Emissionen um 5 dB(A) geprüft. Diese kann unter anderem durch einen offenen Asphalt, aber auch durch weniger effektive lärmindernde Beläge in Kombination mit weiteren Maßnahmen wie Geschwindigkeitsbeschränkungen erreicht werden (siehe Kapitel 3.4.2).

Aus den Ergebnissen (Bild 95) wird ersichtlich, dass lediglich an drei Gebäuden eine Überschreitung des Schwellenwertes durch den Straßenverkehrslärm verbleibt und an vier Gebäuden eine geringe Überschreitung durch Schienenverkehrslärm. Auch in der Bewertung nach LKZ (Bild 97) zeigt sich, dass die Lärmkonflikte fast vollständig gelöst wurden.

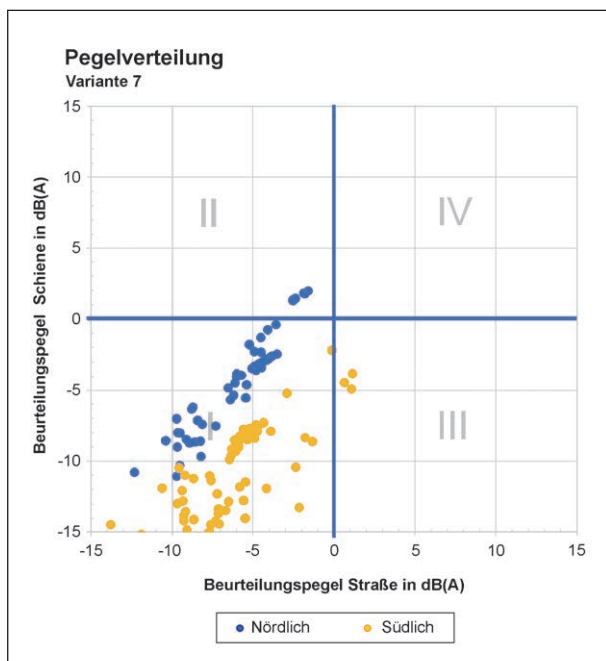


Bild 95: Pegelverteilung Variante 7

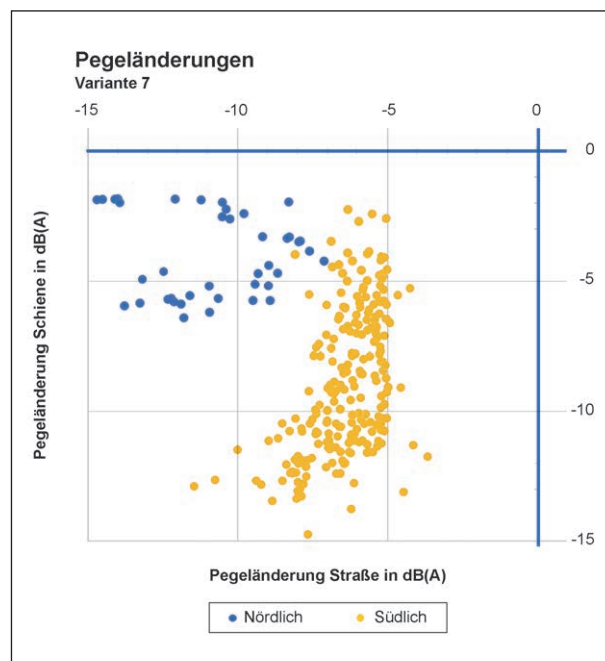


Bild 96: Pegelveränderungen Variante 7

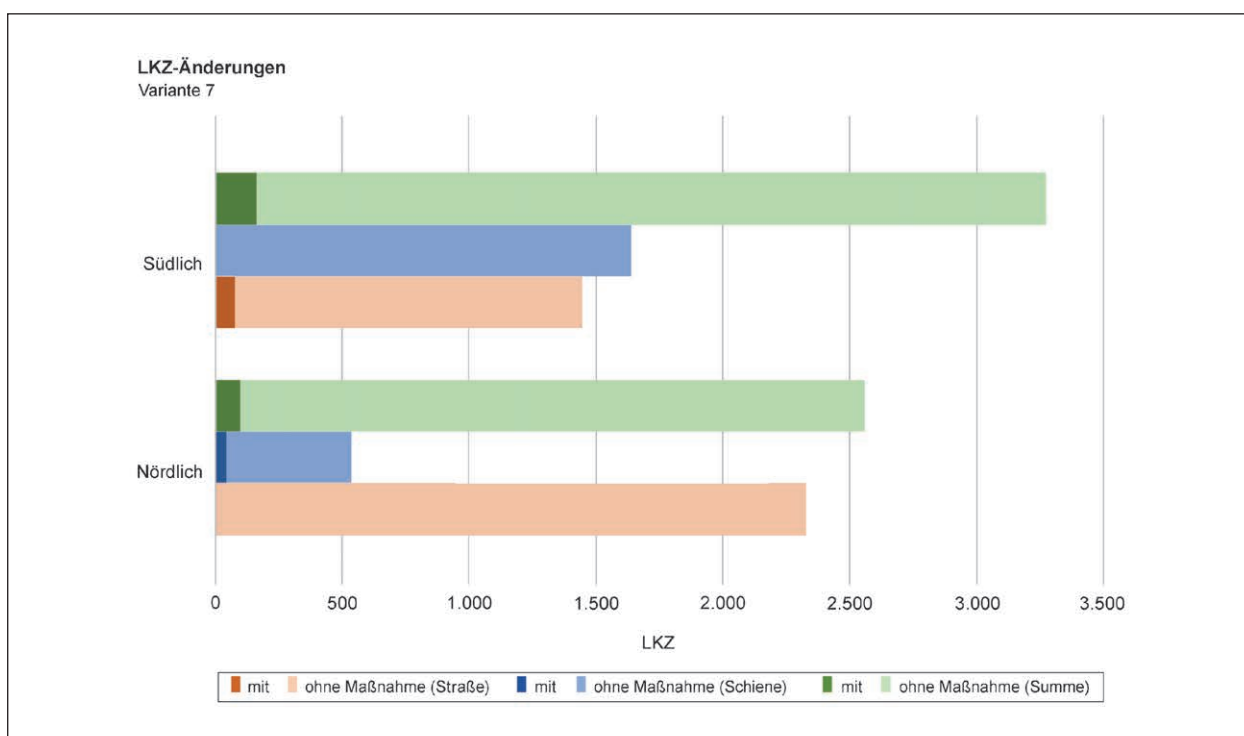


Bild 97: LKZ-Änderungen Variante 7

6.1.9.2 Variante 8: Abschirmung an Schiene (4 m) und Straße (5 m) + Fahrbahn

Auch in Variante 5 verblieben nach Prüfung von Lärmschutzwänden an der Schiene und der Straße Konflikte im Wesentlichen für den Straßenverkehr, nur vereinzelt für den Schienenverkehr. Die Konflikte für den Straßenverkehr liegen um rund 6 dB(A), damit bieten sich Maßnahmen zur Minderung der Emissionen an. Auch hier wird eine Minderung der Emissionen um 5 dB(A) geprüft.

Aus den Ergebnissen (Bild 98) wird ersichtlich, dass lediglich an vier Gebäuden eine Überschreitung einzig des Schwellenwertes durch den Straßenverkehrslärm verbleibt und an drei Gebäuden eine geringe Überschreitung durch Schienenverkehrslärm (teilweise auch sehr gering durch Straßenverkehrslärm). Auch in der Bewertung nach LKZ (Bild 100) zeigt sich, dass die Lärmkonflikte fast vollständig gelöst wurden.

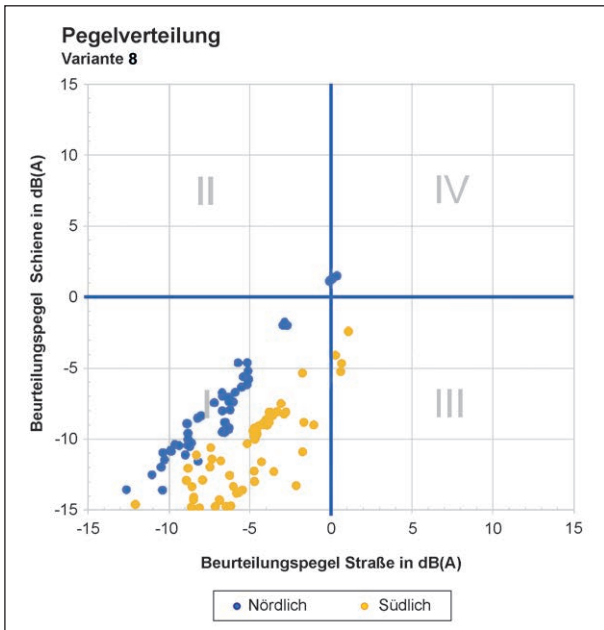


Bild 98: Pegelverteilung Variante 8

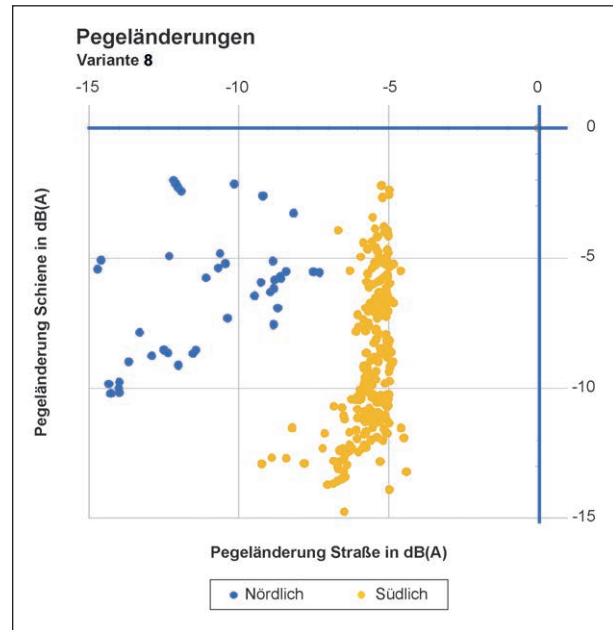


Bild 99: Pegelveränderungen Variante 8

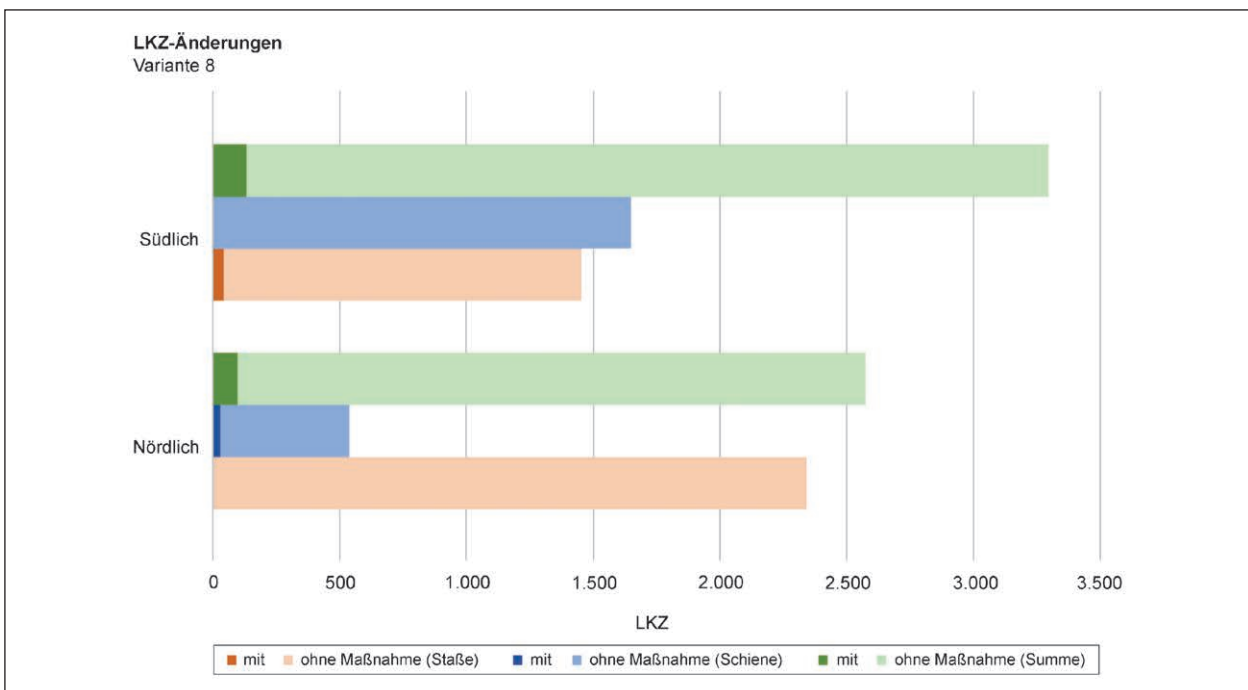


Bild 100: LKZ-Änderungen Variante 8

6.1.10 Zweite Prüfung auf Zielwerterreichung (Schritt 6, Wiederholung)

In der zweiten Maßnahmenprüfung wurden Maßnahmenkombinationen identifiziert, die eine Erreichung der Zielwerte größtenteils ermöglichen. Eine weitere Pegelminderung des Straßenverkehrs scheint (ohne detailliertere Optimierungen) nicht umsetzbar, sodass die Prüfung mit den verbleibenden Überschreitungen beendet wird.

6.1.11 Abschließende Bewertung und Nutzen-Kosten-Analyse (Schritt 7)

In die abschließende Bewertung sollen im Schwerpunkt drei Varianten betrachtet werden, die eine weitgehende Erreichung der Schutzziele aufweisen:

- Variante 7: Wand an der Schiene und Straße (4 m), verlegte Straße mit Emissionsminderung um 5 dB,
- Variante 4: Wand an der Schiene (4 m), Straße (3 m) sowie Emissionsminderung an der Straße um 5 dB,
- Variante 8: Wand an der Schiene (4 m), Straße (5 m) sowie Emissionsminderung an der Straße um 5 dB.

Der Vollständigkeit halber werden auch weitere potenziell wirksame Varianten betrachtet und dargestellt.

Bei einer Analyse der jeweils über alle Gebäude ermittelten LKZ ergeben sich die in Bild 101 ermittelten Verteilungen jeweils für Straßen- und Schienenverkehr sowie den energetischen Gesamtlärm. Die Ergebnisse können als Form der Effektivität betrachtet werden, d. h. ein Grad der Zielerreichung. Bei der reinen Wirkungsbetrachtung liegen die Varianten 4, 7 und 8 deutlich vor den weiteren Varianten.

Um die tatsächlich wirtschaftlichste Variante zu ermitteln, sind die Varianten zudem anhand der Kosten zu bewerten. Hierbei wird neben der reinen Effektivität auch die Effizienz (Effektivität bei Mitteleinsatz) ermittelt.

Bei den Maßnahmen mit der höchsten Wirkung unterscheiden sich insbesondere Varianten 4 und 8 nur durch eine Erhöhung des straßenseitigen Lärmschutzes von 3 auf 5 m. Variante 7 weist durch eine notwendige Verlegung einen deutlich höheren Aufwand auf, für den anhand der Monetarisierung die Effizienz bewertet werden sollte.

Die Kosten der jeweiligen Maßnahmenvariante ergeben sich aus der Fläche der angesetzten Wände sowie für die zu ändernden Fahrbahnoberflächen der Straßen, ermittelt aus Länge und Breite der

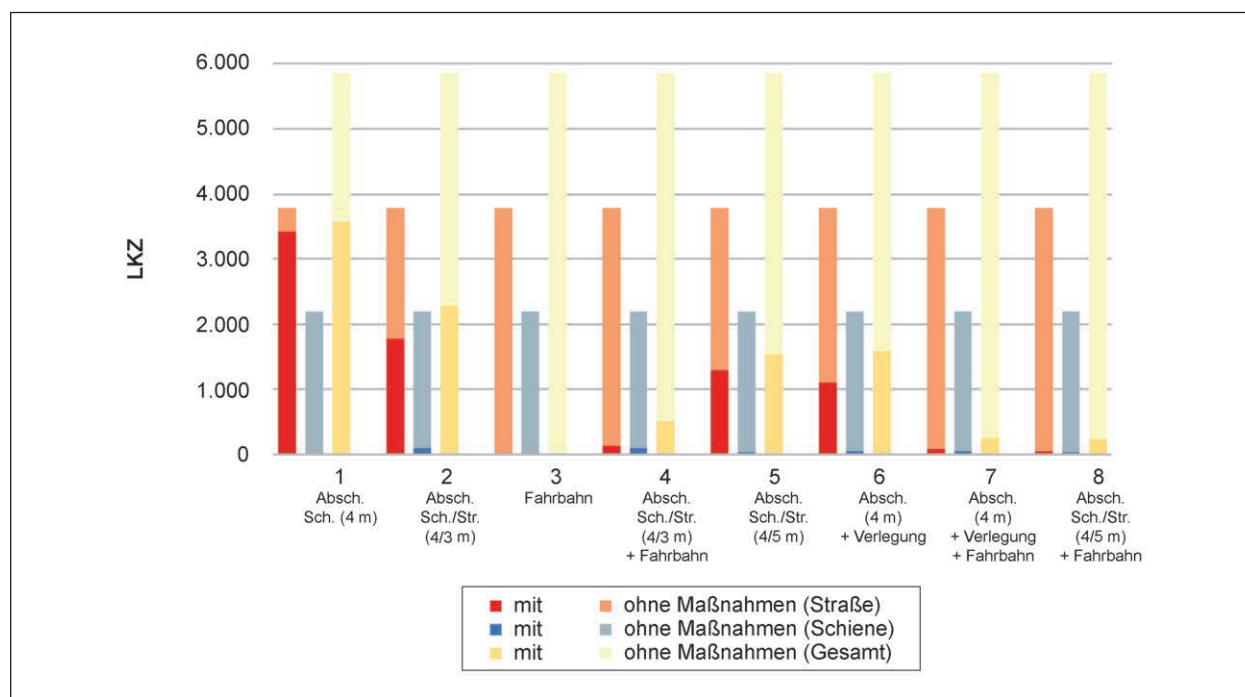


Bild 101: LKZ-Änderung Gebiet „Parallel Land“

Fahrbahnen. Eine Verlegung der Straße wird ebenfalls mit (pauschal ermittelten) dafür anfallenden Kosten berücksichtigt.

Bei einer exemplarischen Nutzen-Kosten-Analyse zeigen sich Unterschiede bei der Wahl der Ermittlungsmethode. Nach NKV anhand des EBI werden drei Varianten bevorzugt (siehe Bild 103), zwei Varianten liegen ähnlich bewertet dahinter. Bei der Bewertung des NKV nach Lärmsanierung zeigt sich hingegen eine deutliche Präferenz nur für zwei Maßnahmen (siehe Bild 104). Eine Variante liegt deutlich hinter den übrigen vier. Die Rangfolge der Maßnahmen bleibt trotz dieser hohen Unterschiede für Variante 5 jedoch gleich.

Die Variante einer Verlegung zeigt trotz der Bündelung der Verkehrswege und der guten Effektivität aufgrund der angesetzten Kosten ein schlechtes NKV. Dies läge im Beispiel ohne Maßnahmen an der Straßenoberfläche bei unter 1 und wäre somit z. B. in der Lärmsanierung nicht wirtschaftlich.

Eine Kombination von Effektivität und Effizienz bietet sich in Anlehnung an die Auswertung nach dem Schweizer Modell an (siehe Kapitel 3.3.2.5). Als Effektivität wurde hier die LKZ-Minderung des Gesamtlärms (siehe auch Bild 101) gewählt, für die Effizienz das Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) nach Lärmsanierung (Bild 103). In der Kombination ergibt sich die Darstellung in Bild 102.

Bei den Auswertungen des Nutzen-Kosten-Verhältnisses (bzw. der in Bild 102 dargestellten Effizienz) ist zu beachten, dass jeweils nur grobe Kostenschätzungen in die Auswertung eingehen konnten. Insbesondere bei Maßnahmen zur Fahrbahnoberfläche scheinen die anzusetzenden Kosten (nach Kapitel 3.3.1.3) eher zu einem zu hohen NKV zu führen.

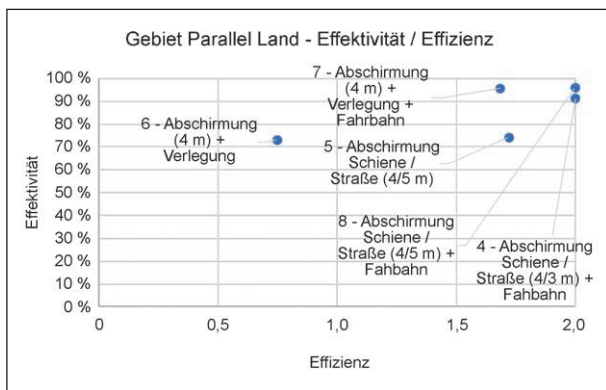


Bild 102: Nutzen-Kosten-Vergleich der Varianten – Effektivität/ Effizienz – Gebiet „Parallel Land“ (Effizienz begrenzt auf Maximum 2,0)

6.2 Modellgebiet mit Bewertung nach VDI 3722-2

Wie bereits in Kapitel 4.5 vorgestellt, wurden abweichende Berechnungs- und Bewertungsmethoden am Modellgebiet erprobt. Für das Modellgebiet mit parallelen Quellen in ländlicher Umgebung (Kapitel 6.1) wird als alternative Bewertungsmethode die VDI 3722-2 angewandt, um für den Schienenverkehr jeweils den Substitutionspegel zu ermitteln. Dieser soll stellvertretend für den eigentlichen Beurteilungspegel die Belästigungswirkung berücksichtigen.

Zu beachten ist bei dem hier vorgestellten Verfahren, dass eine Anwendung der bisherigen Grenzwert- oder Richtwerte auf den Substitutionspegel nicht vorgesehen ist. Eine für das UBA vorgeschlagene „TA Gesamtlärm“ [9] könnte eine Einbindung der VDI 3722-2 in das nationale Immissionsschutzrecht

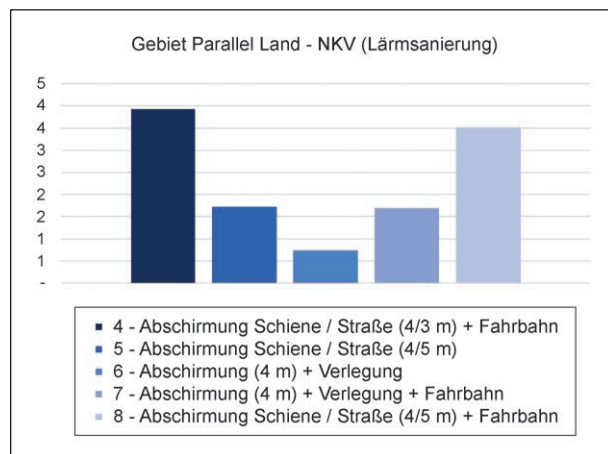


Bild 103: Nutzen-Kosten-Vergleich der Varianten – NKV (Lärmsanierung) – Gebiet „Parallel Land“

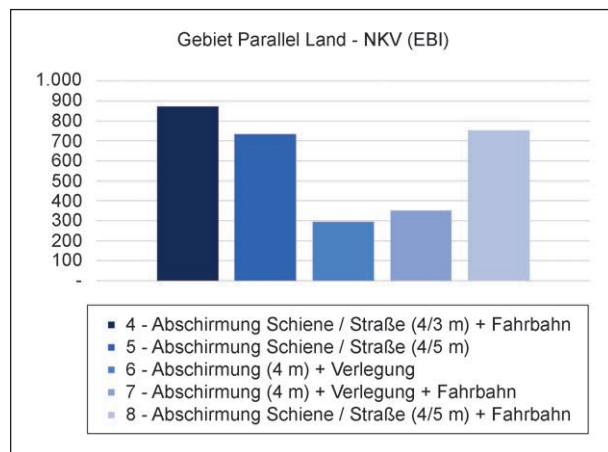


Bild 104: Nutzen-Kosten-Vergleich der Varianten – NKV (EBI) – Gebiet „Parallel Land“

bewirken. Anders verhält es sich beim Umgebungslärm, hierzu wird vorgeschlagen, renormierte Ersatzpegel und effektbezogenen Substitutionspegel als Lärmindizes im Sinne der Umgebungslärmrichtlinie einzuführen.

Zur theoretischen Betrachtung einer Bewertung nach VDI 3722-2 wird der bisher gewählte Schwellenwert beibehalten, der Schienenverkehrslärm jedoch nach der Methode der VDI 3722-2 zum renormierten Ersatzpegel umgerechnet. Der Straßenverkehr dient hierbei als Referenz, der Pegel wird daher nicht umgerechnet.

Zur Anwendung kommen zum einen die bisherigen Funktionen, zum anderen die nach WHO-Review (siehe Kapitel 3.1.2.2) vorgeschlagenen neuen Kurven [9] für die VDI 3722-2 (vgl. Bild 40). Ein Vergleich beider Ergebnisse ist in Bild 105 dargestellt. Mit den bisherigen Funktionen der VDI 3722-2 (im Bild 105 links) läge der Schienenverkehr in etwa 5 dB niedriger als mit dem berechneten Beurteilungspegel, mit den Modifikationen (im Bild 105 rechts) rund 5 dB höher. Zwischen beiden Funktionen ergibt sich eine Differenz von etwa 10 dB.

Für die Varianten des Modellgebietes (siehe Kapitel 6.1) sind Ergebnisse in Bild 107 und 108 dargestellt. Durchgängig zeigt sich die Verschiebung des Schienenverkehrslärms durch die Berücksichtigung der Belästigung.

Die Auswertungen zeigen, dass die vorgestellte Methode zur Prüfung von Lärmkumulationen auch bei abweichenden Bewertungsfunktionen grundsätzlich anwendbar ist. Über die Belästigungsäquivalenz lassen sich Kumulationen auch hinsichtlich der Belästigung bewerten und auf einen Zielwert

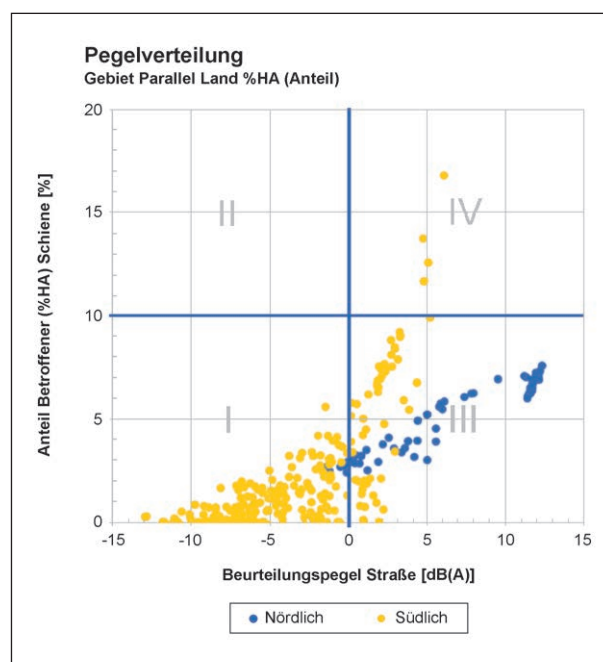


Bild 106: Pegelverteilung unter Anwendung der Bewertung %HA nach VDI 3722-2 für Schienenverkehr sowie Wahl des Schwellenwerts als Anteil Belästigter (10 %HA)

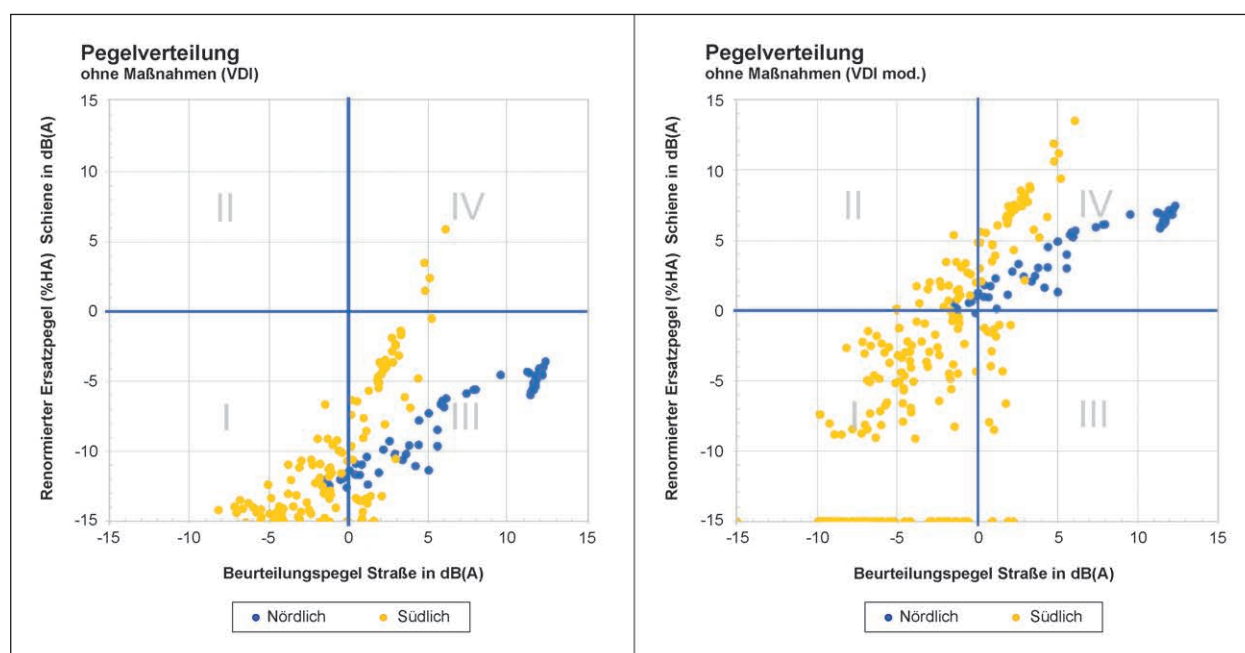


Bild 105: Pegelverteilung bei Anwendung des Substitutionspegelverfahrens nach VDI 3722-2 für Schienenverkehr mit %HA – links: bisherige Funktionen; rechts: Vorgeschlagene Modifikation

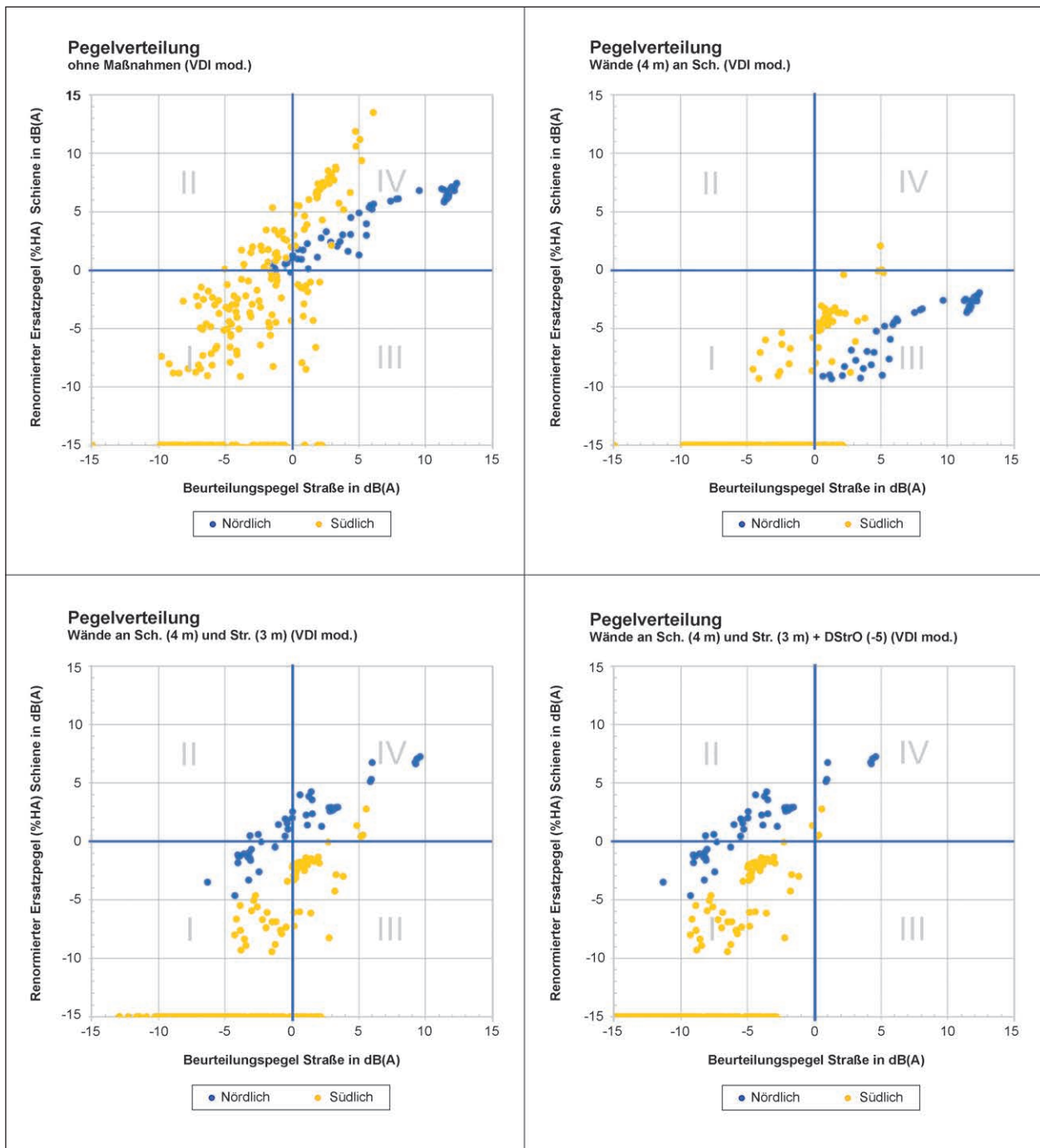


Bild 107: Pegelverteilung nach modifizierter VDI 3722-2 (Nullvariante + Varianten 1, 2, 4)

mindern. Es fehlt jedoch ein rechtlicher Rahmen zur tatsächlichen Anwendung, insbesondere zur Zielgröße (Schwellenwert).

Alternativ ist in Bild 106 noch die Pegelverteilung mit einem Schwellenwert in Form des Anteils der Belästigten dargestellt. Als Schwelle wurde hier exemplarisch ein Anteil von 10 % Hochbelästigter

(%HA) in Anlehnung an die WHO-Leitlinien [33] gewählt (siehe auch Kapitel 4.5.3). Im Diagramm ist, abweichend von den bisherigen Abbildungen, anstelle der (relativen) Schwellenwertüber- bzw. -unterschreitung der (absolute) Wert (%HA) dargestellt.

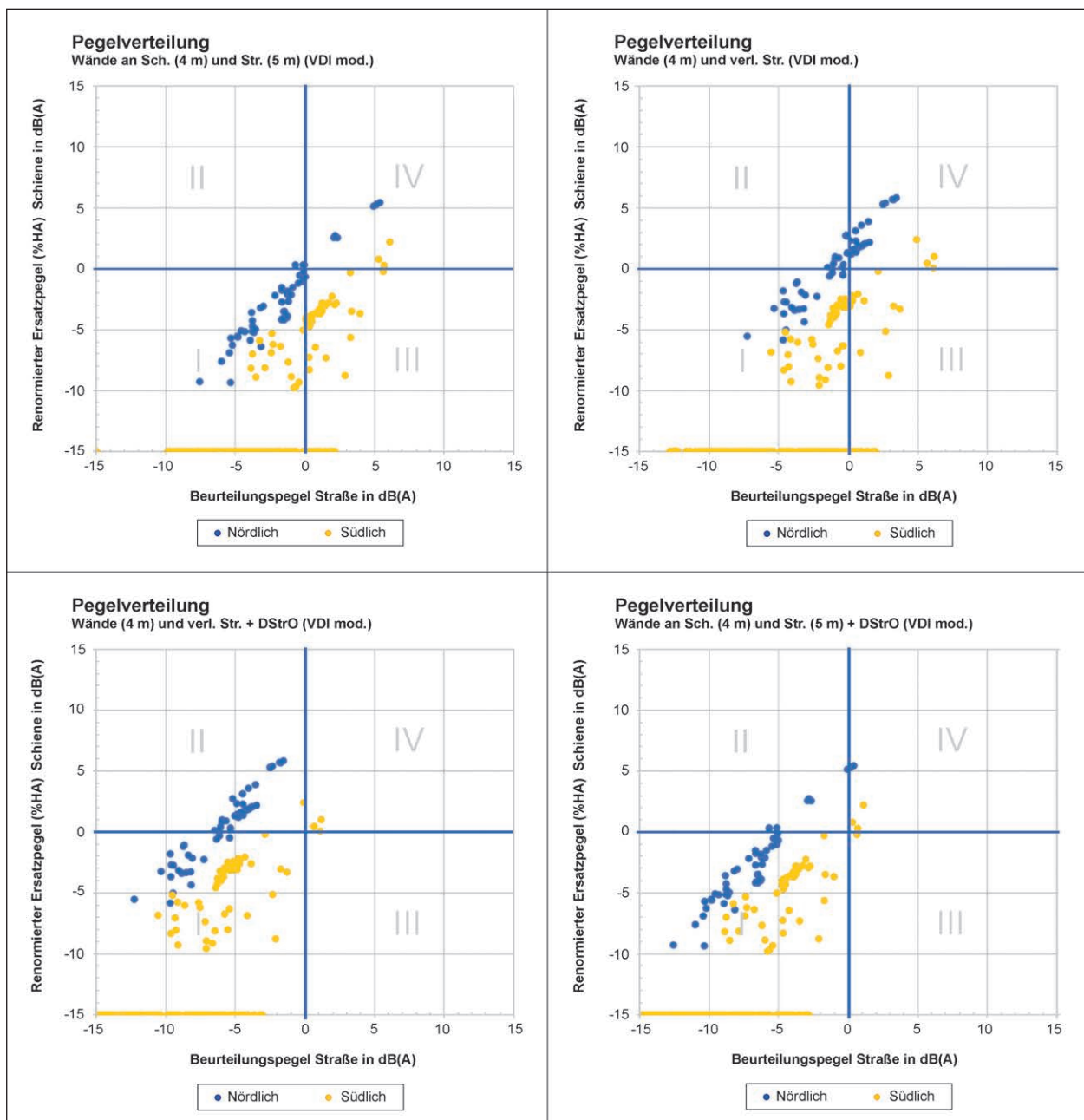


Bild 108: Pegelverteilung nach modifizierter VDI 3722-2 (Varianten 5, 6, 7, 8)

6.3 Modellgebiet Messstandort

6.3.1 Gebietsbeschreibung und Vorprüfung

Auf Grundlage des in Kapitel 2.3.1 behandelten Messgebietes zwischen zwei vielbefahrenen Quellen (Schiene und Bundesautobahn) wurde als zweite exemplarische Anwendung eine Variante gewählt, in der die reale lokale Situation (Verkehrswege, Gelände) um eine fiktive Bebauung ergänzt wurde. Dabei wurden vier Gebäudetypologien in

den sich ergebenden vier Sektoren zwischen den Verkehrswegen gewählt:

- Nördlich der Bundesautobahn, östlich der Bahnstrecke wird vorwiegend Zeilenbebauung modelliert.
- Östlich der Bahnstrecke und südlich der Bundesautobahn wird ein Siedlungsgebiet mit geschlossener Blockstruktur vorgesehen.

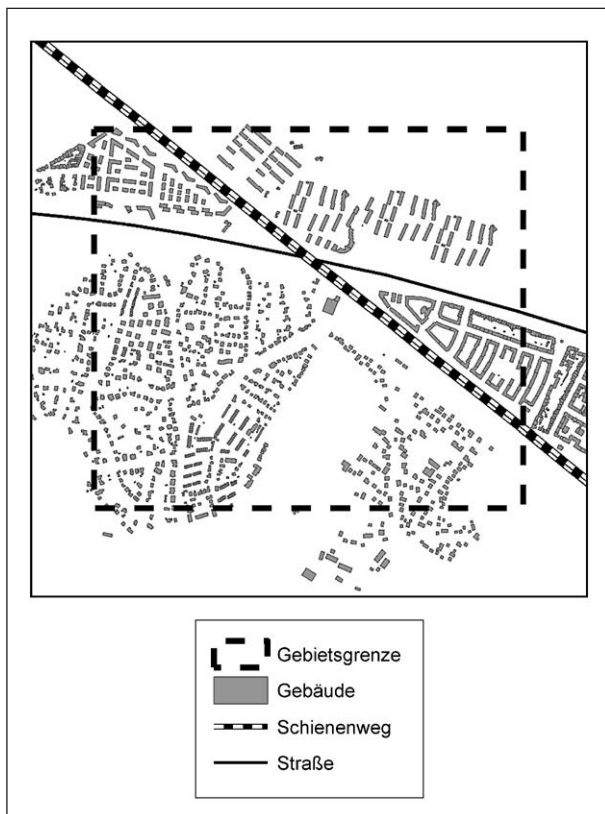


Bild 109: Modellgebiet „Messstandort“ – Lageplan mit Gebietsabgrenzung

- Südlich der Verkehrswege handelt es sich um eine Siedlungsbebauung mit geringer Gebäudehöhe.
- Im Westen wird eine verdichtete Gebäudestruktur mit Einzelgebäuden modelliert.

Bis auf die Siedlungsbebauung sind die Gebäude mehrgeschossig ausgeführt. Dies wird bei der Wahl der Maßnahmen entsprechende Effekte zeigen, da eine Abschirmung für diese Gebäude schwieriger zu erreichen ist.

Im Modellgebiet sind in der Realität, bis auf eine Betonbarriere als Absturzsicherung, die auch in geringem Maße abschirmend wirkt, keine Lärmschutzbauwerke vorhanden. Der Straßenbelag ist mit einem Splitt-Mastix-Asphalt hergestellt, der eine Emissionsminderung von 2 dB(A) bewirkt. Das Gleis nördlich der Kreuzung mit der Straße ist bereits als „besonders überwachtetes Gleis“ (BüG) ausgeführt und im Modell ebenso berücksichtigt. Die Lage der Gebäude, der Quellen sowie des Untersuchungsgebietes sind in Bild 109 dargestellt. Der Straßen- und Schienenverkehr wurden jeweils auf



Bild 110: Anteil des Straßenverkehrs am Gesamtlärm (maximaler Fassadenpegel mit Gesamtpegel größerer Schwellenwert)

Grundlage langfristiger statistischer Daten modelliert: für den Straßenverkehr wurde die Verkehrserhebung aus dem Jahre 2017 zugrunde gelegt, für den Schienenverkehr die Analyse-Daten nach Schall03.

Die Berechnungen wurden getrennt für die Lärmarten Straßen- und Schienenverkehrslärm an den Fassaden der schutzbedürftigen Gebäude durchgeführt. Die Ergebnisse hierzu sind in Bild 111 jeweils für den höchsten Beurteilungspegel pro Gebäude dargestellt. Einen Eindruck über den Anteil des Straßenverkehrslärms am Gesamtlärm gibt Bild 110. Dargestellt ist der Anteil am Straßenverkehr an Gebäuden, an denen der Schwellenwert überschritten ist. Für Flug- und Schiffsverkehrslärm werden keine relevanten Beurteilungspegel angesetzt, daher kann das Verfahren zur Lärmkumulation für zwei Quellen angewandt werden.

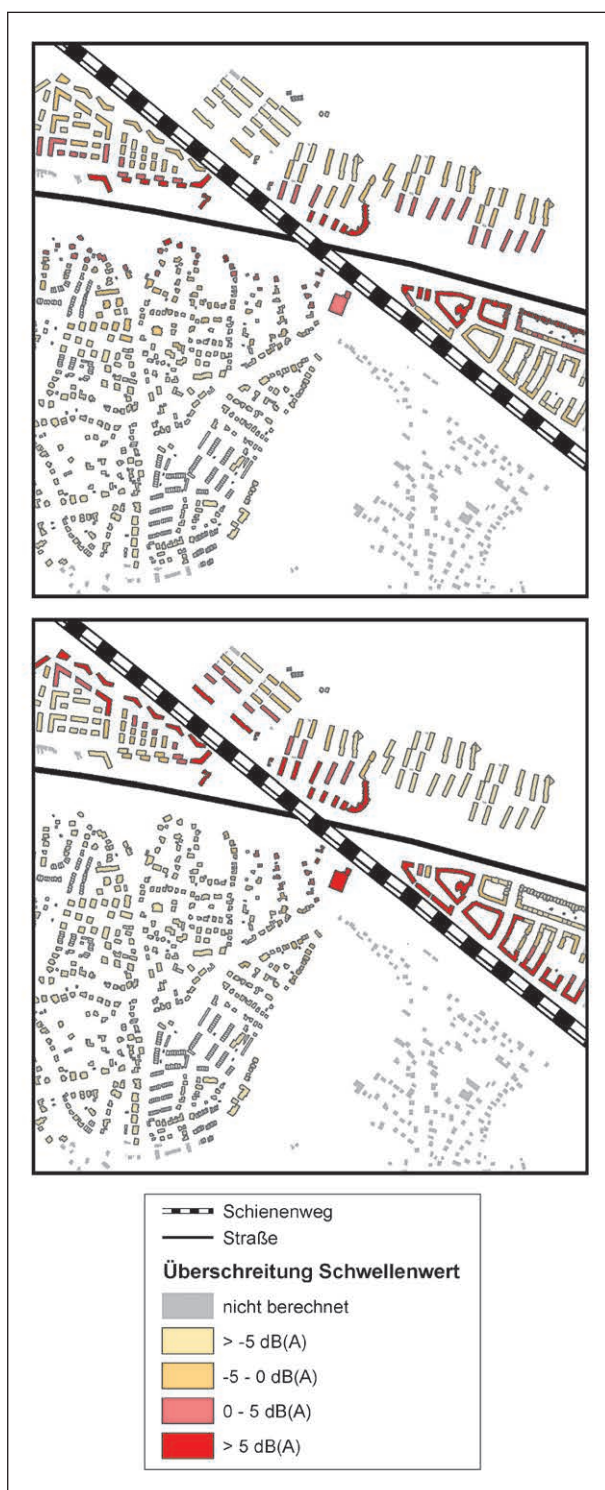


Bild 111: Beurteilungspegel Straßenverkehr (oben) und Schienenverkehr (unten), dargestellt ist jeweils der maximale Pegel pro Gebäude

6.3.2 Vergleich mit den Messergebnissen

Die Berechnungsergebnisse auch mit Bebauung zeigen sehr deutlich, dass der Schienenverkehrslärm einen großen Einfluss im Modellgebiet hat. Dies zeigt sich unter anderem in der Bewertung nach LKZ (Bild 101). Die allein auf Grundlage der Messergebnisse zu erwartenden vollständige Dominanz des Schienenverkehrs zeigt sich allerdings nicht im gesamten Untersuchungsgebiet.

Durch Abschirmung sowie auch allein durch die Entfernung zu den Verkehrsquellen ist der Einflussbereich der jeweiligen Quellen stark eingeschränkt. Selbst im südlichen Siedlungsgebiet, in dem nur wenig Abschirmung durch die Gebäude zu erwarten ist, sind nur wenige Gebäudereihen nahe an der Bahn relevant über dem gewählten Schwellenwert von Schienenverkehrslärm betroffen.

6.3.3 Darstellung und Gruppierung (Schritt 1)

Wie bereits in vorherigen Anwendungsfall werden ausgehend von den Berechnungsergebnissen die Beurteilungspegel der einzelnen Fassadenpunkte ausgewertet und zur Reduzierung der zu betrachtenden Immissionsorte der maximale Beurteilungspegel jedes Gebäudes berücksichtigt.

Die Pegelverteilung ist in Bild 112 dargestellt, die die folgende Gruppierung der Immissionsorte berücksichtigt. Diese wurde entsprechend der vier Gebäudetypologien in den sich ergebenden vier Sektoren zwischen den Verkehrswegen gewählt:

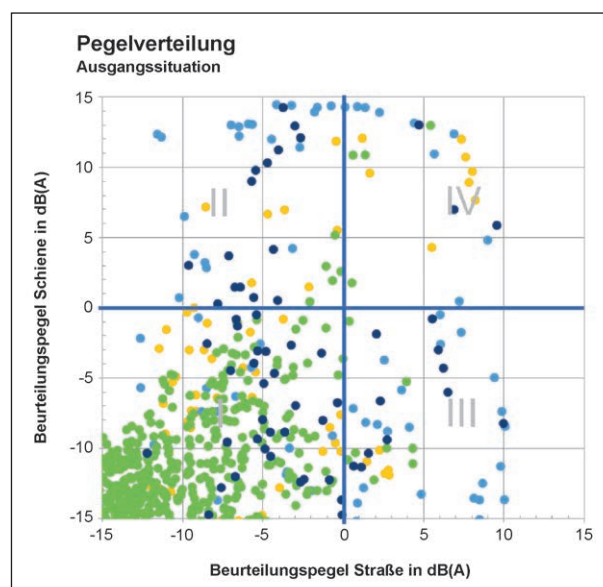


Bild 112: Pegelverteilung Gebiet „Messstandort“ Ausgangssituation

- Nord
Die Gebäude nördlich der Bundesautobahn, östlich der Bahnstrecke werden in Gelb dargestellt. Die Gebäude weisen vor allem hohe Pegel durch Schienenverkehr auf. Die Immissionen des Straßenverkehrs liegen größtenteils unter dem Schwellenwert.
- Ost
Das Siedlungsgebiet östlich der Bahnstrecke und südlich der Bundesautobahn wird in Hellblau dargestellt. Die Gebäude werden sehr stark durch Schienen- und Straßenverkehrslärm belastet (Bereich II und III), teilweise auch von beiden Quellen (Bereich IV).
- Süd
Die Gebäude südlich werden in Grün dargestellt. Nur einzelne Gebäude weisen Belastungen oberhalb des Schwellenwertes durch Schienen- oder Straßenverkehrslärm auf.
- West
Die Gebäude westlich werden in Dunkelblau dargestellt. Wie die Gebäude im Osten weisen diese vorwiegend hohe Pegel durch Schienen- oder Straßenverkehrslärm auf (Bereich II und III), nur wenige Gebäude sind jedoch von beiden Quellen betroffen (Bereich IV).

6.3.4 Zielbestimmung und Ableiten von Lärm-schutzmaßnahmen (Schritte 2 und 3)

Ausgehend von den Ergebnissen in Bild 112 werden die Ziele für die vier Gruppen getrennt definiert:

- Nord
Für die Gruppe sind Maßnahmen am Straßenverkehr mit einer Minderung von bis zu 8 dB notwendig. Sofern an vier Gebäuden Überschreitungen hingenommen werden, beträgt die notwendige Minderung 3 dB. Für den Schienenverkehr ist eine Minderung von bis zu 13 dB notwendig. Die höchstbelasteten Gebäude befinden sich in einer Lärmkumulation, d. h. Straßen- und Schienenverkehrslärm weisen hohe Überschreitungen auf (Bereich IV).
- Ost
Für den Schienenverkehr sind für betroffene Gebäude Maßnahmen mit einer Wirkung von 11 bis 14 dB notwendig. Ein weiteres einzelnes Gebäude weist Überschreitungen von 1 dB auf. Für den Straßenverkehr sind Maßnahmen mit einer

Wirkung von bis zu 10 dB notwendig. Es gibt einige Gebäude, die im Bereich einer Lärmkumulation liegen. Im Wesentlichen weist jedoch entweder der Schienenverkehrs- oder der Straßenverkehrslärm hohe Überschreitungen der Schwellenwerte auf.

- Süd
Die Gebäude im südlichen Gebiet weisen nur geringe Überschreitungen der Schwellenwerte auf. Die notwendigen Pegelminderungen betragen für Schienen- und Straßenverkehrslärm jeweils maximal rund 5 dB. An einem einzelnen Gebäude sind die Schwellenwerte für beide Quellen überschritten. Bei Betrachtung der energetischen Summe des Schienen- und Straßenverkehrspegels liegen weitere Gebäude im Bereich I oberhalb des Schwellenwerts.
- West
Ein einzelnes Gebäude im Gebiet West ist von beiden Lärmquellen stark betroffen. Ansonsten ergeben sich notwendige Pegelminderungen entweder für den Straßenverkehr (rund 10 dB) oder den Schienenverkehr (rund 15 dB).

Daher ergeben sich grob folgende Maßnahmen:

- Nord
Im Wesentlichen sind hochwirksame Maßnahmen für die Gebäude im Bereich der Lärmkumulation zu prüfen. In Folge können Pegelminderungen an den übrigen Gebäuden eintreten, die ggf. bereits die Schwellenwerte einhalten.
- Ost
Hochwirksame Maßnahmen an der Schienenstrecke sind unumgänglich.
- Süd
Geringe Pegelminderungen (Emissionen) an den jeweiligen Quellen können ausreichend sein, alternativ könnte eine Abschirmung im Kreuzungsbereich wirken.
- West
Die Maßnahmen sind vorwiegend quellenbezogen zu wählen.

Zusammenfassend werden für den ersten Prüfschritt die folgenden möglichen Maßnahmen identifiziert:

- Wandvarianten,
- Maßnahmen am Gleis,
- Maßnahmen an der Fahrbahn der Straße.

6.3.5 Erste Maßnahmenprüfung (Schritt 4)

6.3.5.1 Variante 1: Wandvarianten

Zum Schutz der modellierten Wohnbebauung wurden an verschiedenen Abschnitten der Verkehrsweg Abschirmungen in Form von Lärmschutzwänden vorgesehen (siehe Bild 113). In einem Fall (Richtung der Bebauung im Südwesten) wurde mit einer Höhe von 9 m an der Bahn eine sehr hohe Variante an Lärmschutz geprüft. Für die Bundesautobahn wurde im Osten jeweils eine Wand mit einer Höhe von 2 m nördlich und südlich der Fahrspuren vorgesehen, ebenso westlich der Kreuzung Richtung Norden. Durch die Hochlage der Strecke ist zu erwarten, dass hiermit auch Gebäude in höheren Geschossen noch geschützt werden könnten.

Aus der Pegelverteilung (Bild 114) ist ersichtlich, dass trotz der getroffenen Maßnahmen viele Gebäude weiterhin oberhalb des gewählten Schwellenwertes von Lärm betroffen sind. Im Vergleich zur Bild 112 zeigt sich jedoch auch, dass die Konflikte mit dem Straßenverkehrslärm größtenteils auf eine Überschreitung von weniger als 5 dB(A) gemindert wurden.

In der Pegelveränderung (Bild 115) wird sehr deutlich ersichtlich, wie die einzelnen Teilmaßnahmen wirken:



Bild 113: Lageplan Maßnahmen Gebiet „Messstandort“ – Variante 1, 4 und 5

- Nord
Bei den gelb dargestellten Gebäuden im nördlichen Sektor ergeben sich an wenigen Gebäuden hohe Wirkungen. Dies sind die von einer großflächigen Verglasung geschützten sowie die dahinterliegenden Gebäude. Ansonsten ergeben sich nur geringe Pegelminderungen für den Straßenverkehr durch die Wand auf dem Damm.
- Ost
Das Gebiet im östlichen Sektor (Hellblau) zeigt wie zu erwarten nur Pegelminderungen für den

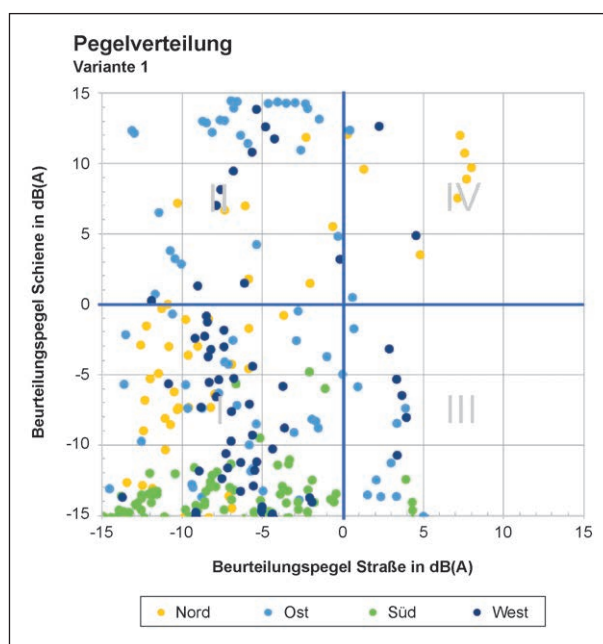


Bild 114: Pegelverteilung Variante 1

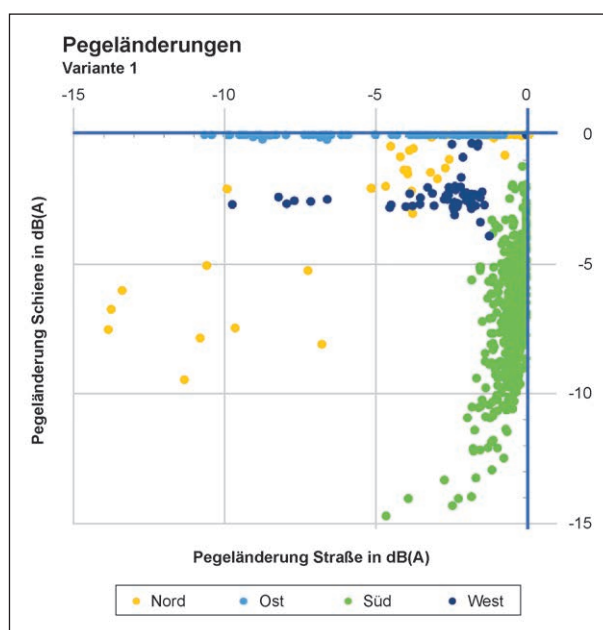


Bild 115: Pegelveränderungen Variante 1

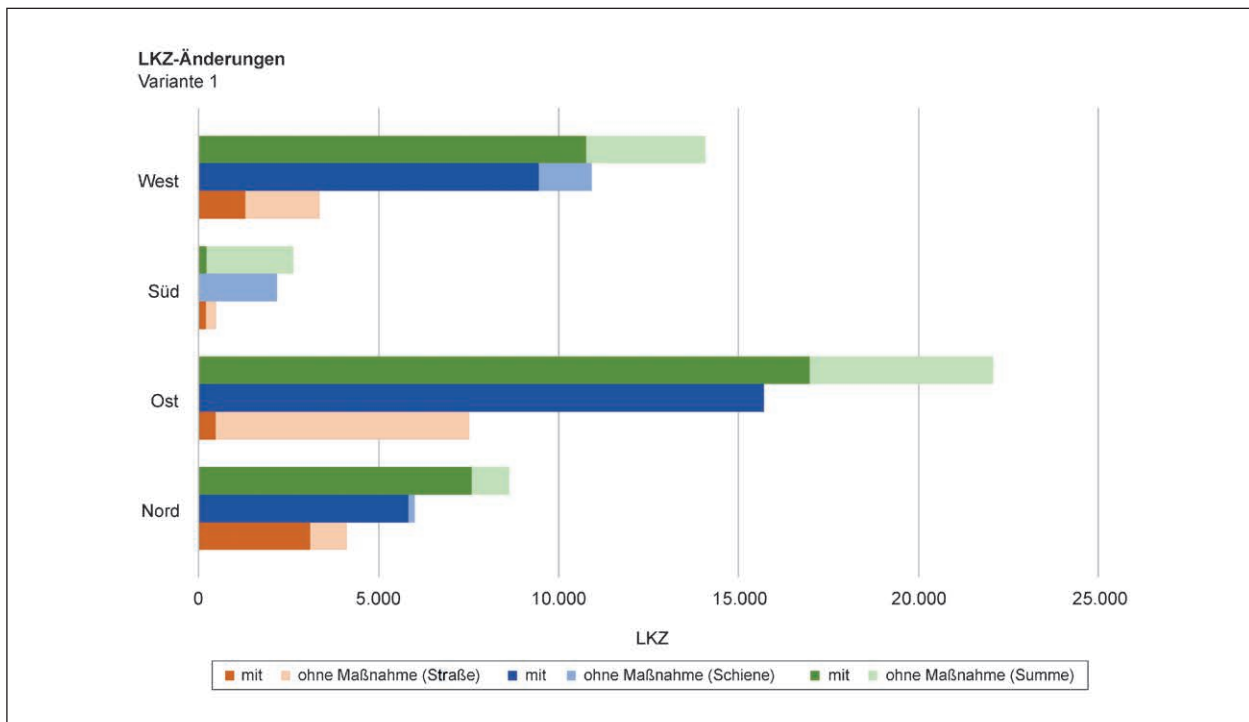


Bild 116: LKZ-Änderung Variante 1

Straßenverkehr, da an der Schiene keine Maßnahmen vorgesehen wurden.

- Süd
Die südlichen Gebäude (Grün) zeigen vorwiegend Pegelminderungen für den Schienenverkehr, die aus der hohen Wand entlang der Schienenstrecke herrühren. Die Pegelminderungen für den Straßenverkehr ergeben sich durch die ebenfalls durch diese Wand erreichte teilweise Abschirmung der Bundesautobahn. Die Wirkung ist aber eher gering.
- West
Die westlichen Gebäude (Dunkelblau) zeigen geringe, aber wirksame Pegelminderungen sowohl des Straßen- als auch des Schienenverkehrslärms. Hier wirken die zwei Wände, auf dem Damm an der Straße sowie die niedrige Lärmschutzwand an der Schiene, getrennt.

Die Bewertung nach LKZ (Bild 116) zeigt, dass für das Gebiet „Süd“ durch die Abschirmung des Schienenverkehrslärms der Gesamtlärm fast vollständig unter den Schwellenwert gebracht werden kann. Für das Gebiet „Ost“ kann durch die Abschirmung des Straßenverkehrslärms diese Lärmquelle stark gemindert werden, die verbleibenden Konflikte sind somit fast ausschließlich auf den Schienenverkehr

zurückzuführen. Für das Gebiet „West“ erreichen die Maßnahmen zwar eine Pegelminderung an fast allen Gebäuden, jedoch fällt diese nur gering aus, sodass die Belastungssituation bestehen bleibt. Auch im Gebiet „Nord“ bleibt die Belastung bestehen, obwohl einzelne Gebäude sehr starke Pegelminderungen erfahren.

6.3.5.2 Variante 2: Maßnahmen am Gleis (Nord)

Für das Gleis nördlich der Kreuzung mit der Bundesautobahn ist bereits als Maßnahme das „besonders überwachte Gleis“ (BüG) umgesetzt. Als zusätzliche Maßnahme wurde in den Berechnungen ergänzend eine weitere Emissionsminderung (z. B. anhand einer Schienenstegabschirmung) gewählt. Am Gleis südlich der Kreuzung werden keine Maßnahmen vorgesehen.

Insgesamt zeigen sich nur marginale Pegeländerungen (Bild 118), sodass sich in der Pegelverteilung (Bild 117) und der Bewertung nach LKZ (Bild 119) keine relevanten Effekte zeigen.

6.3.5.3 Variante 3: Offenporiger Asphalt

Die Fahrbahnoberfläche der Bundesautobahn wurde bereits mit einem Asphalt mit einem D_{StrO} von

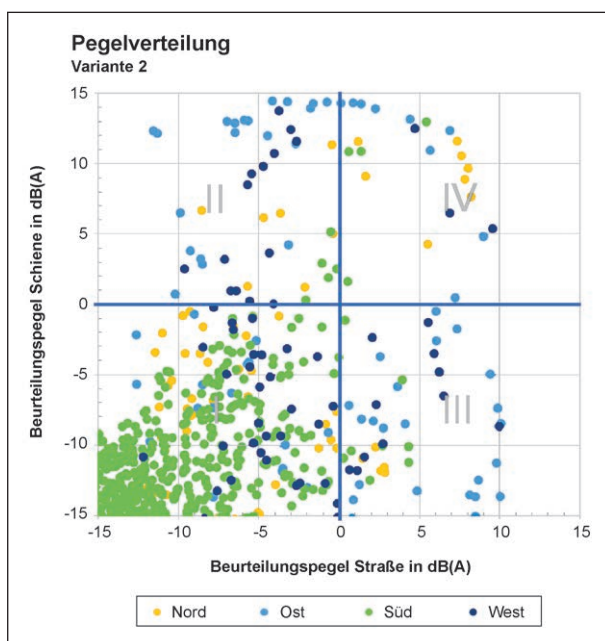


Bild 117: Pegelverteilung Variante 2

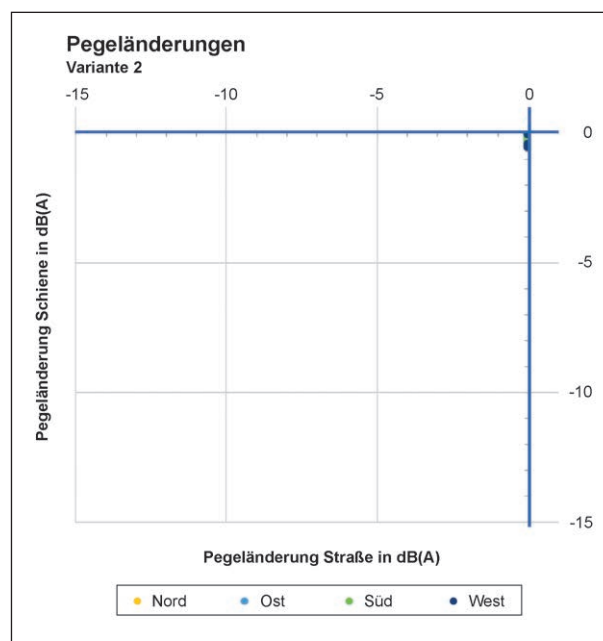


Bild 118: Pegelveränderungen Variante 2

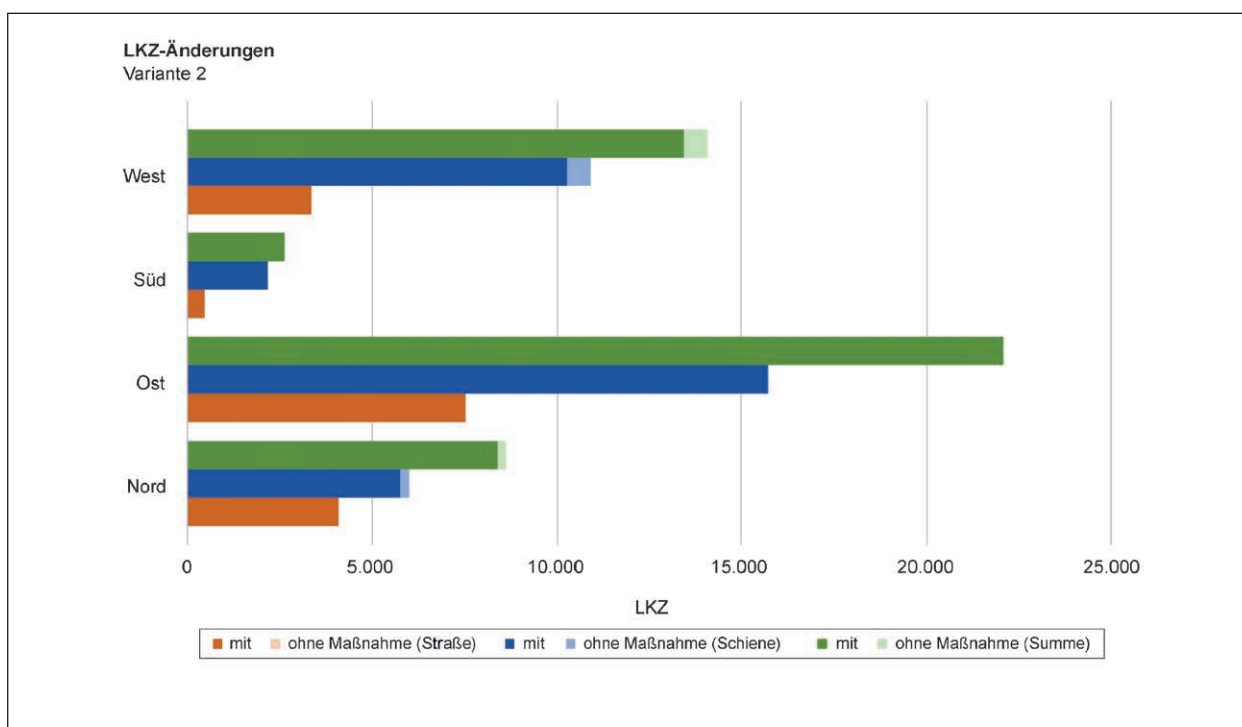


Bild 119: LKZ-Änderung Variante 2

-2 dB(A) hergestellt. Geprüft wird, wie sich die Gesamtbelastung mit einem offenporigen Asphalt (OPA) mit einem D_{StrO} von -5 dB(A) darstellt.

In der Pegelverteilung (Bild 120) ergeben sich die zu erwartenden Verschiebungen entlang der x-Achse um 3 dB(A), die auch aus der Pegelveränderung abzulesen sind (Bild 121). In der Bewertung nach

LKZ (Bild 122) zeigt sich eine hohe Wirkung bezogen auf den Straßenverkehr: die LKZ pro Gebiet kann nahezu halbiert werden. Bezogen auf den Gesamtlärm sind die Minderungen durch den nicht veränderten Schienenverkehrslärm jedoch nur sehr gering.

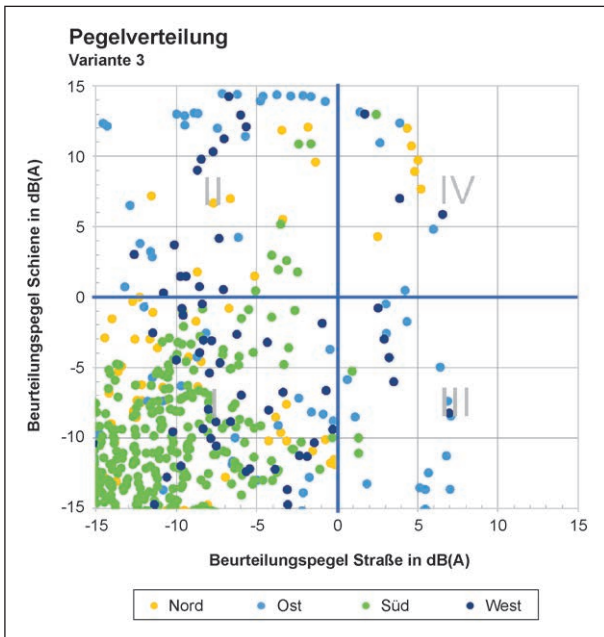


Bild 120: Pegelverteilung Variante 3

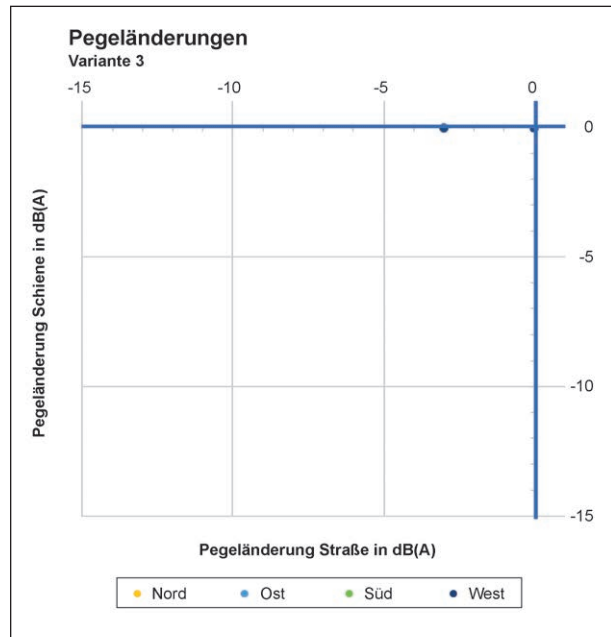


Bild 121: Pegelveränderungen Variante 3

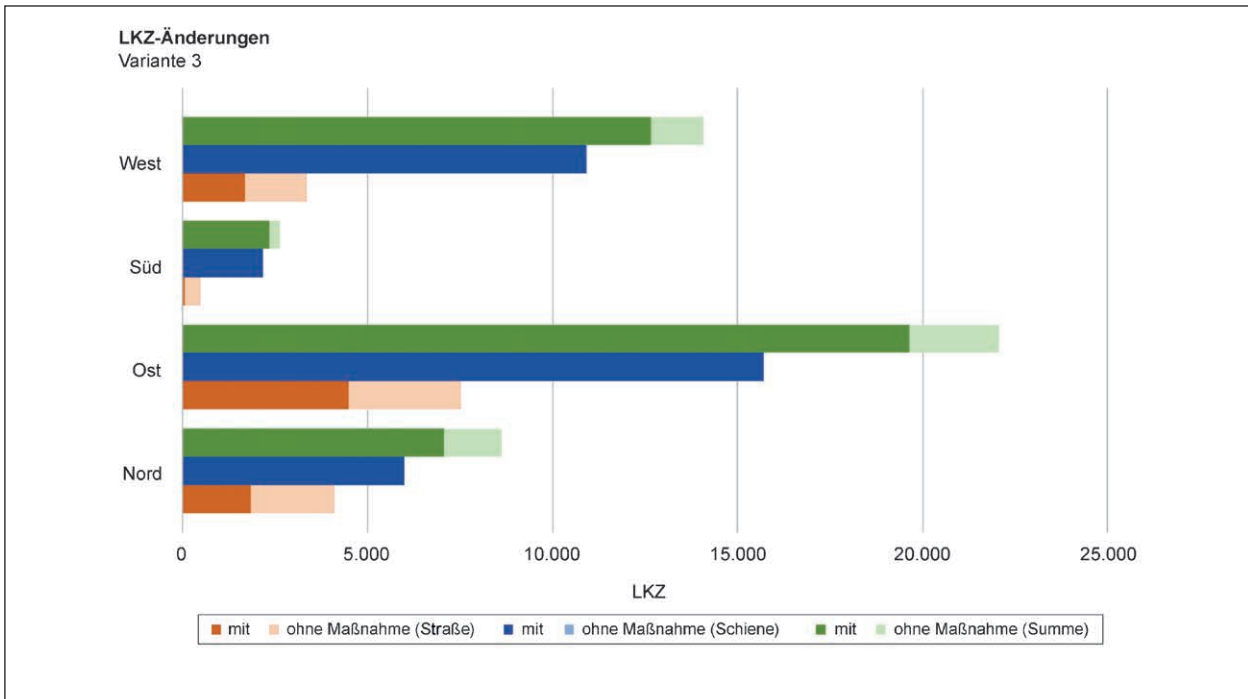


Bild 122: LKZ-Änderung Variante 3

6.3.5.4 Zusammenfassung erster Maßnahmenprüfung

Die Ergebnisse zeigen, dass in dem untersuchten Fall ein gemeinsamer Lärmschutz (Variante 1, siehe Bild 115) nicht den gewünschten Effekt erzielt, die Lärmbelastung durch beide Verkehrsträger nachhaltig zu senken. Der Bereich des gleichzeitigen Einflusses durch beide Verkehrsträger ist klein, damit ergeben sich nur wenig Synergieeffekte durch

eine „gemeinsame“ Abschirmung. Nur für wenige Immissionsorte ergibt sich eine deutliche Wirkung sowohl für den Schienenverkehrslärm als auch für den Straßenverkehrslärm. Andererseits sind auch die verkehrsträgerbezogenen (emissionswirksamen) Maßnahmen wenig wirksam. Es somit verkehrsträgerspezifische, aufeinander abgestimmte Maßnahmen vorzusehen (siehe Kapitel 2.5), sowohl bezogen auf Emissionen als auch auf Abschirmung.

6.3.6 Erste Kombination und Bewertung (Schritt 5)

Da mit den geprüften Maßnahmen die Beurteilungspegel die Zielwerte noch nicht vollständig erreicht haben, werden mögliche Maßnahmenkombinationen geprüft.

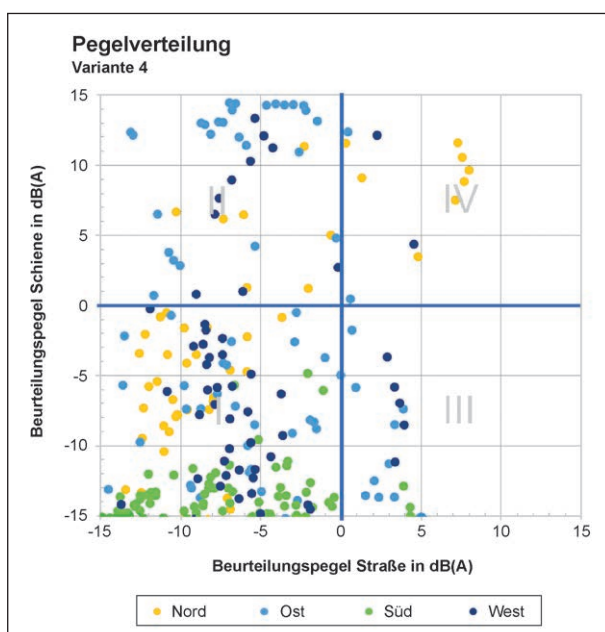


Bild 123: Pegelverteilung Variante 4

6.3.6.1 Variante 4: Wandvarianten und Maßnahmen am Gleis

Die Variante 4 stellt eine Kombination der Varianten 1 (Wände) und 2 (Maßnahmen am Gleis) dar. Die Lage und Höhe der Wände ist identisch mit Variante 1 (siehe Bild 113).

Da die Wirkung der Maßnahmen am Gleis (siehe auch Variante 2) sehr gering ausfällt, unterscheiden sich die Ergebnisse nicht merklich von Variante 1.

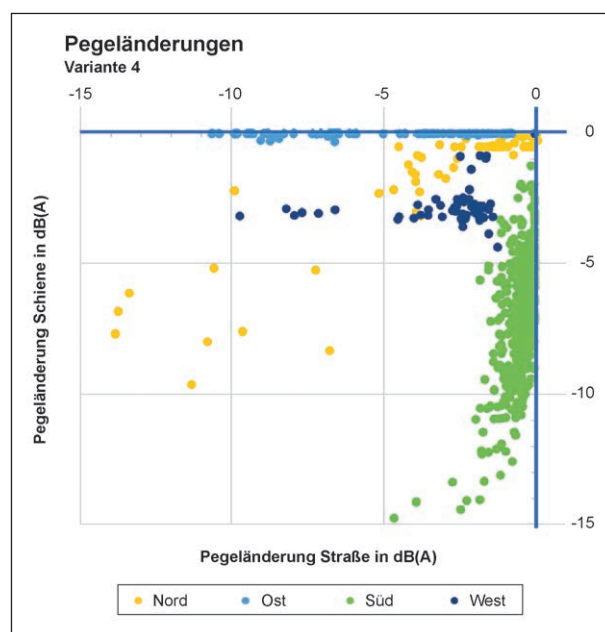


Bild 124: Pegelveränderungen Variante 4

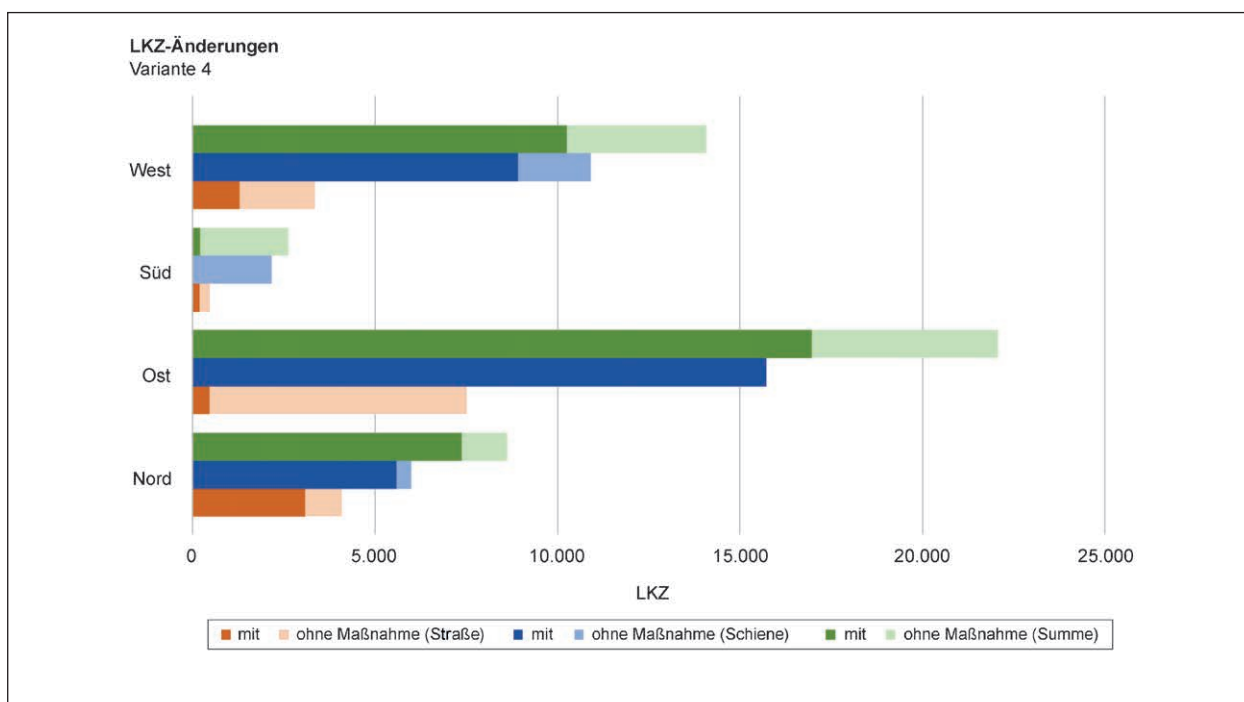


Bild 125: LKZ-Änderung Variante 4

6.3.6.2 Variante 5: Wandvarianten, Maßnahmen am Gleis und OPA

In Variante 5 wird zusätzlich zur Variante 4 (bestehend aus Variante 1 und 2) noch die Variante 3 berücksichtigt. Die Lage und Höhe der Wände ist identisch mit Variante 1 und Variante 4 (siehe Bild 113).

Die Variante 5 zeigt die zu erwartende Wirkung in Kombination von Variante 1 und 3. In der Pegelver-

änderung (Bild 127) zeigt sich die erwartete Verschiebung von 3 dB(A) auf der x-Achse (siehe Bild 121) gegenüber der Variante 1 (siehe Bild 115).

Durch die Maßnahmen kann der Straßenverkehrslärm soweit gemindert werden, dass kaum Überschreitungen des Schwellenwertes verbleiben (Bild 126). Auch in der Bewertung nach LKZ ist ersichtlich, dass der Straßenverkehr weitestgehend unter dem Schwellenwert liegt (Bild 128).

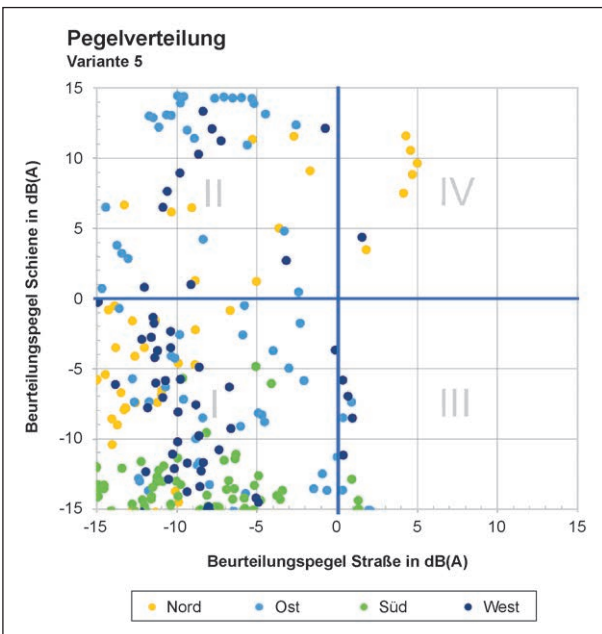


Bild 126: Pegelverteilung Variante 5

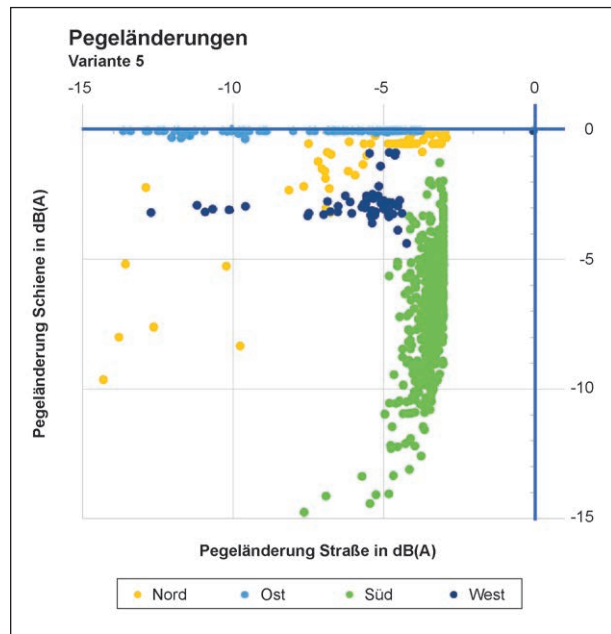


Bild 127: Pegelveränderungen Variante 5

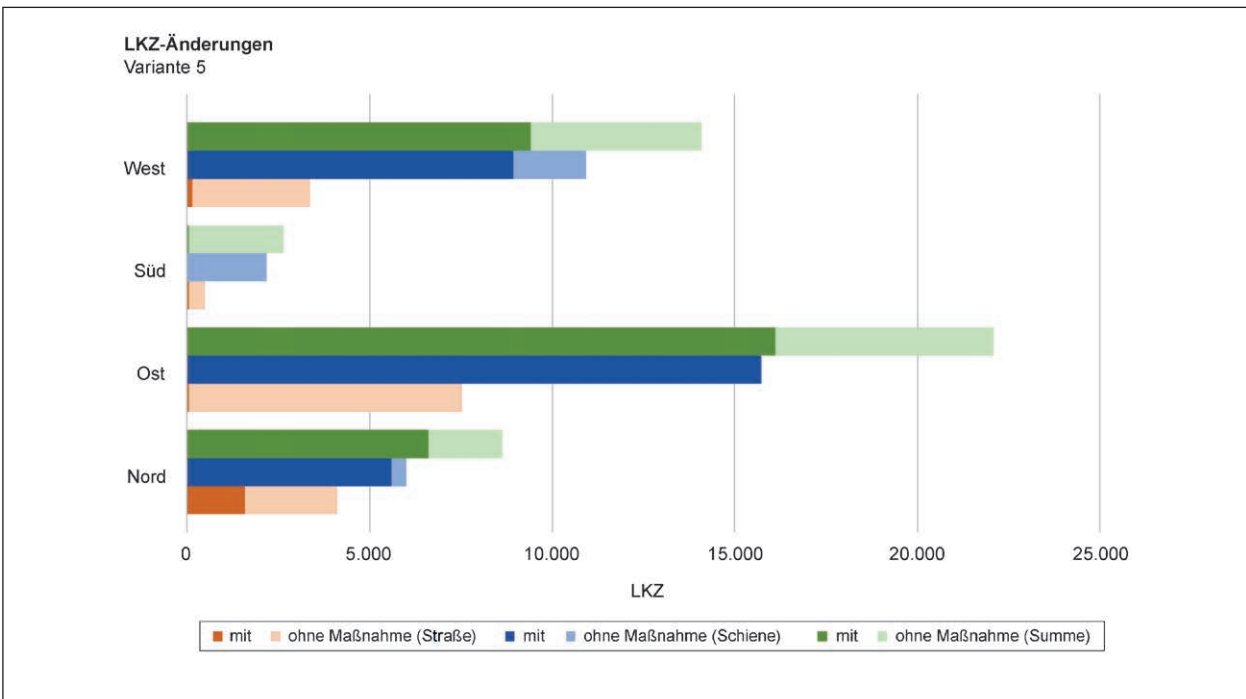


Bild 128: LKZ-Änderung Variante 5

6.3.7 Erste Prüfung auf Zielwerterreichung (Schritt 6)

Bei der Prüfung der Varianten kann festgestellt werden, dass einzig für das Gebiet „Süd“ die Zielwerte erreicht werden können.

Für das Gebiet „Süd“ könnten weitere Maßnahmen geprüft werden, bei denen die Wandstellungen optimiert werden. Es ist zu erwarten, dass die Abschirmung an der Schiene zu hoch ausfällt, an der Straße wäre ggf. durch eine lokale Abschirmung ein Verzicht auf den offenporigen Asphalt möglich. Die Maßnahmen am Gleis sind verzichtbar, da diese Pegelminderung aufgrund der Wand nicht benötigt wird.

Für die übrigen Gebiete ist keine Maßnahmenkombination dazu geeignet, die Zielwerte vollständig zu erreichen. Daher muss an dieser Stelle des Verfahrens entschieden werden, ob

- weitere Maßnahmen geprüft werden,
- die Zielwerte angepasst werden müssen oder
- die verbleibenden Überschreitungen akzeptiert und die Prüfung damit beendet wird.

6.3.8 Zweite Maßnahmenprüfung (Schritt 4, Wiederholung)

Die Überschreitungen des Zielwertes betreffen sowohl den Straßen- als auch den Schienenverkehr. Mit Ausnahme von drei geringfügigen Überschreitungen bei den südlichen Gebäuden des Schwellenwertes für Straßenverkehr um weniger als 1 dB sind ausschließlich Gebäude nördlich der Quellen betroffen. Es bietet sich daher an, die Maßnahmen für diesen Bereich zu optimieren.

Folgende Maßnahmen werden bei der zweiten Maßnahmenprüfung berücksichtigt:

- Erhöhung der Wand an der Straße,
- Verlegung der Straße in Richtung der Schiene.

6.3.8.1 Variante 6: Optimierte Wandvarianten

Nach Auswertung der Berechnungen zur ersten Maßnahmenprüfung wurden an einigen Stellen Optimierungen an der Wandgeometrie vorgenommen. Ziel war zum einen eine bessere Abschirmung (z. B. entlang der Bundesautobahn Richtung Norden und Süden), zum anderen eine Verminderung der ein-

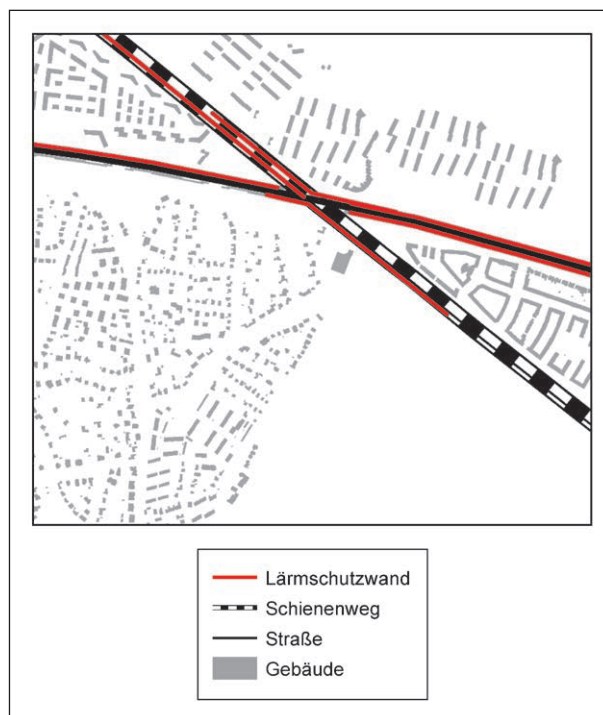


Bild 129: Lageplan Maßnahmen Gebiet „Messstandort“ – Variante 6

gesetzten Wandfläche (Abschirmung an der Kreuzung für die Bebauung Südwest), um die Kosten zu reduzieren. So entfiel auch die Verglasung entlang der Zeilenbebauung im Nordosten.

Für die einzelnen Gebiete zeigt sich die Wirkung der vorgenommenen Optimierung:

- Für die Gebäude „Nord“ werden die Pegel an den höchstbelasteten Gebäuden gemindert.
- Die Gebäude „Süd“ erfahren geringfügig höhere Pegel, ohne dass die Schutzwirkung (Schwellenwertunterschreitung) aufgehoben wird.
- Die Gebäude „Ost“ werden stärker vor Straßenverkehrslärm geschützt, sodass hier der Schwellenwert größtenteils eingehalten werden kann.
- Die Gebäude „West“ erfahren eine vollständige Abschirmung vor Straßenverkehrslärm bezogen auf den Schwellenwert.

Insgesamt ergibt sich eine verbesserte Wirkung bei geringeren oder nur geringfügig höheren Kosten. Die Wand zum Gebiet „Süd“ könnte weiter in Höhe und Länge reduziert werden, ohne an Effektivität einzubüßen. Insgesamt verbleibt eine hohe Belastung insbesondere durch Schienenverkehrslärm (siehe Bild 130).

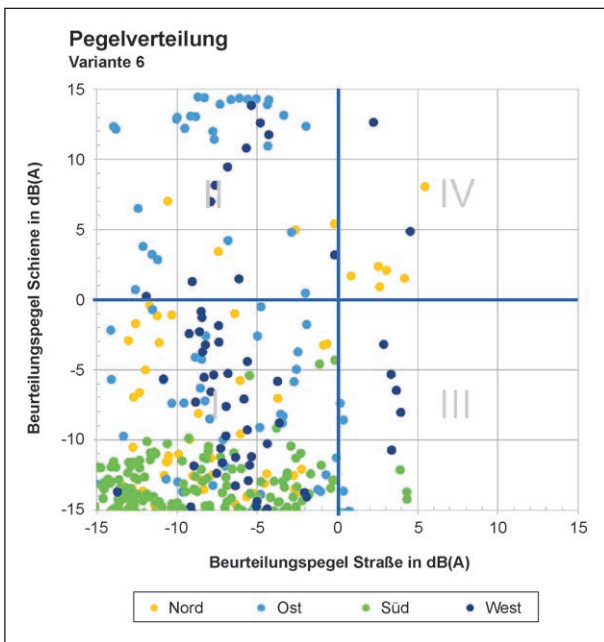


Bild 130: Pegelverteilung Variante 6

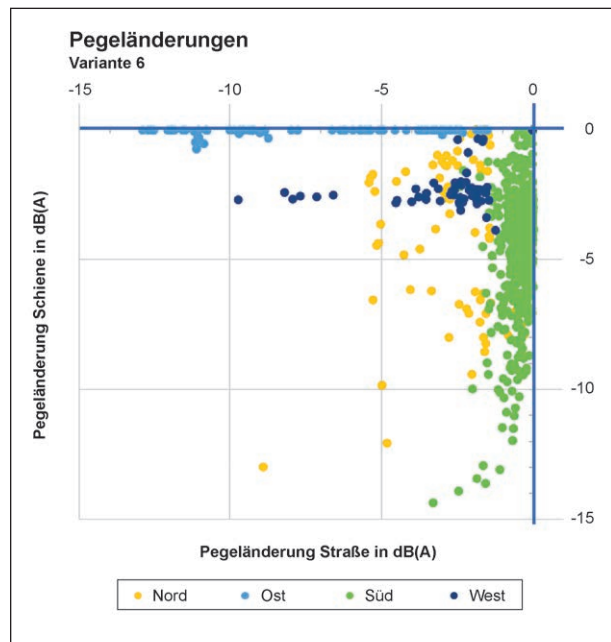


Bild 131: Pegelveränderungen Variante 6

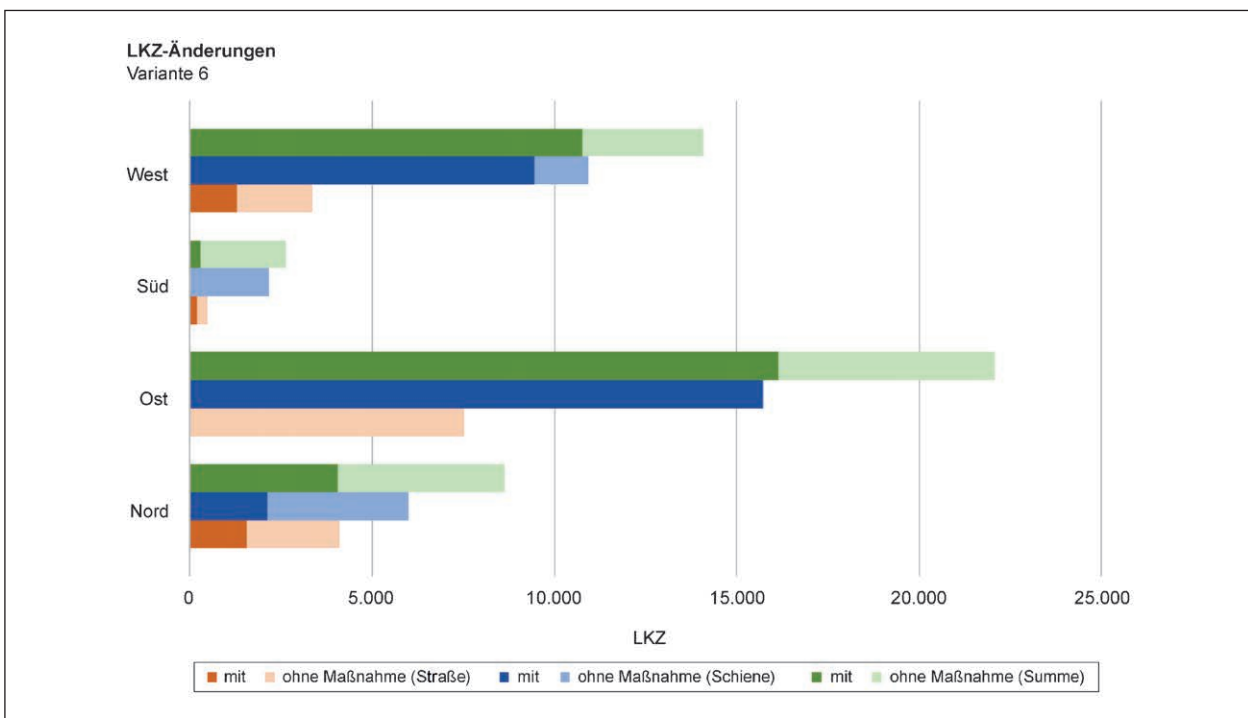


Bild 132: LKZ-Änderung Variante 6

6.3.8.2 Variante 7: Enge Brückendurchfahrt (Bahn)

Im Untersuchungsgebiet wurde in den vorherigen Varianten die Brückensituation wie in der Realität (siehe Bild 133) mit einer sehr großen Spannweite der Brücke modelliert. Hierdurch kann sich der Schall des Schienenverkehrs größtenteils ungehin-

dert auf beide Seiten des Straßendamms ausbreiten.

Als Variante wurde die Durchfahrt der Schiene unter der Autobahn auf das notwendige Mindestmaß begrenzt. Hierdurch soll untersucht werden, welche Immissionen bei Abschirmung eines Teils der Emissionen resultieren.



Bild 133: Foto der Straßenbrücke (Quelle: LÄRMKONTOR GmbH)

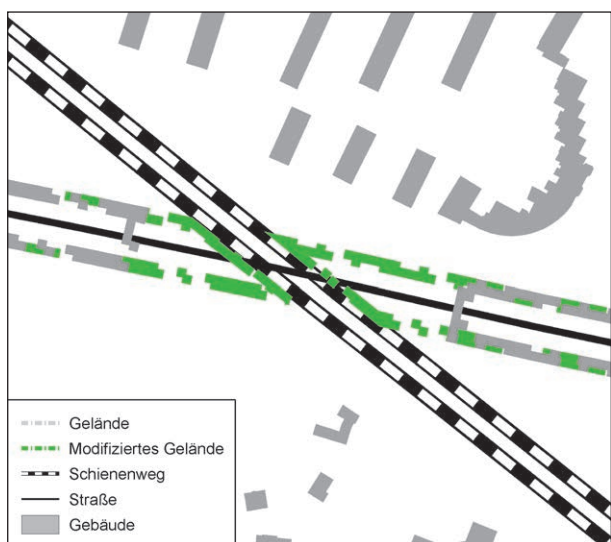


Bild 134: Lageplan Maßnahmen Gebiet „Messstandort“ – Variante 7

In Bild 134 ist die modellierte Verengung in Grün dargestellt. Die Höhenlinien der Geländemodellierung wurden bis an die Schienen herangezogen, um die Durchfahrt somit deutlich schmaler zu gestalten.

Die Änderung im Modell wirkt sich im Wesentlichen für die Häuser im nördlichen und südlichen Sektor aus (Bild 136). Da im südlichen Sektor jedoch nur geringe Überschreitungen des Schwellenwertes vorlagen, zeigt sich die Wirkung nach LKZ (Bild 137) im Wesentlichen nur für die nördlichen Gebäude.

Für das Gebiet „Nord“ können die Pegel an einigen hochbelasteten Gebäuden (gelbe Punkte in Bereich IV in Bild 112) deutlich gemindert werden (siehe Bild 135).

Die Variante 7 stellt somit in diesem Fall zwar keine relevant wirksame Maßnahme dar, jedoch zeigen die Ergebnisse die möglichen Auswirkungen einer größeren Öffnung bei Überführungen gegenüber einer geschlossenen Variante.

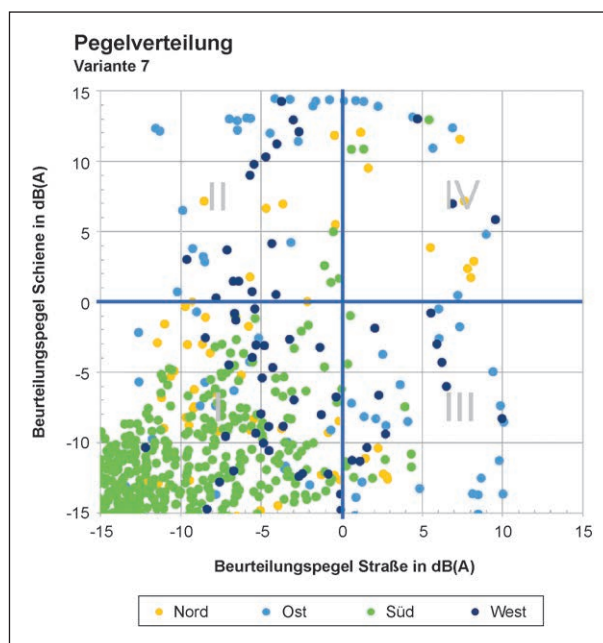


Bild 135: Pegelverteilung Variante 7

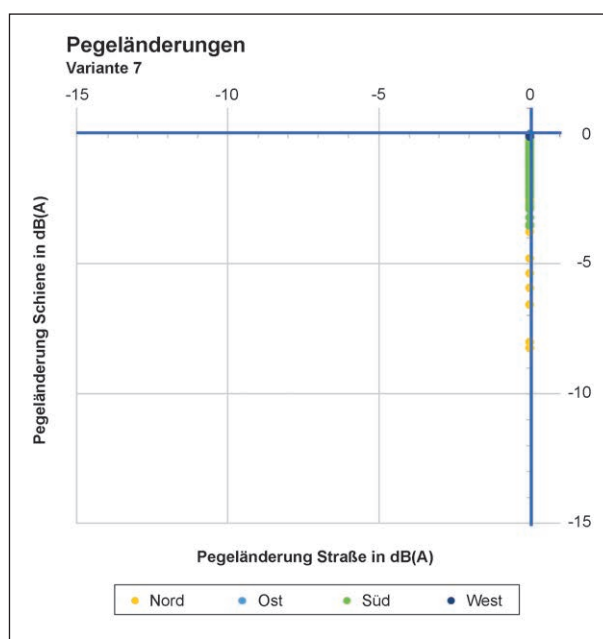


Bild 136: Pegelveränderungen Variante 7

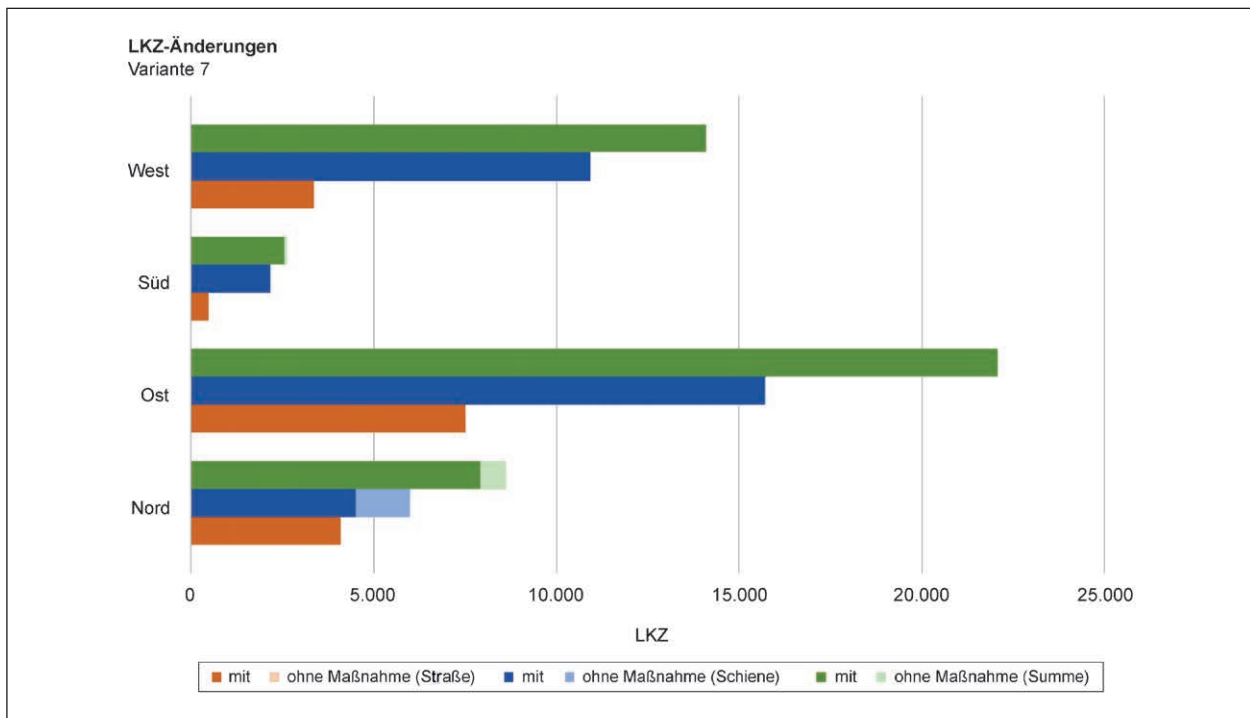


Bild 137: LKZ-Änderung Variante 7

6.3.9 Zweite Prüfung auf Zielwerterreichung und abschließende Bewertung (Schritte 6 und 7)

Die im Rahmen der Anwendung des Verfahrens geprüften Maßnahmen zeigen, dass eine Lösung der Lärmkonflikte nicht in allen Fällen ohne weitgehende Eingriffe in die Verkehrswege oder umfangreiche Lärmschutzbauwerke möglich ist.

Gleichzeitig zeigen die im Rahmen des Verfahrens erstellten Auswertungen die jeweils von einer Maßnahme ausgehenden Wirkungen so, dass eine grundlegende Kombination von Maßnahmenwirkungen auch ohne umfangreiche Rechendurchläufe möglich wird. Ein Einsatz des Verfahrens ist somit auch in Situationen denkbar, in denen eine vollständige Konfliktlösung nicht erreicht werden kann. Eine weitere Variantenprüfung wird im Rahmen der exemplarischen Anwendung nicht verfolgt.

Wie bereits bei der Auswertung zum Modellgebiet paralleler Quellen (Kapitel 6.1.11) erfolgt eine Auswertung und Darstellung der LKZ-Minderung (siehe Bild 139). Es zeigt sich auch hier deutlich, dass keine der gewählten Maßnahmen eine vollständige Lösung für die Lärmkonflikte erreicht. Die Varianten 5 und 6 zeigen mit die höchste Zielerreichung (Effektivität), ohne die jeweiligen Kosten zu berücksichtigen.

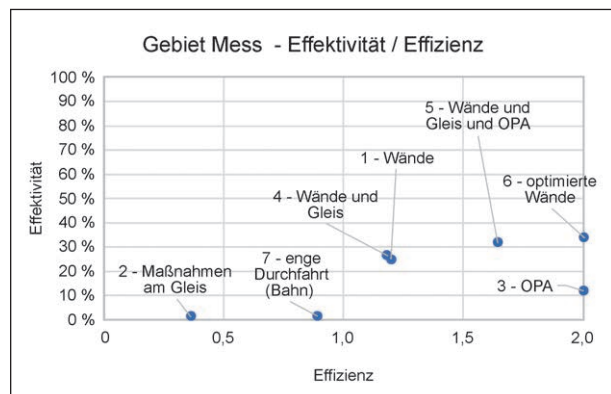


Bild 138: Nutzen-Kosten-Vergleich der Varianten – Effektivität/ Effizienz – Gebiet „Messstandort“

Bei einer Bewertung in Anlehnung an das Schweizer Modell (Kapitel 3.3.2.5) würden die optimierten Wände (Variante 6) den Vorzug erhalten. An zweiter Stelle käme die Variante 5 mit einer Kombination von Wänden, Maßnahmen am Gleis und einem offenen Asphalt.

Nicht berechnet wurde eine Variante, bei der die Wände aus Variante 1 mit einer Maßnahme an der Fahrbahn, Variante 3, kombiniert wurde. Variante 5 berücksichtigt zusätzlich Maßnahmen am Gleis, wodurch die Kosten hierbei höher liegen. Ausgehend von der Auswertung ist zu erwarten, dass diese Maßnahmen jedoch nur einen geringen Einfluss haben: Beim Vergleich von Variante 1 (Wände) und Variante 4 (Wände und Maßnahmen am Gleis) zeigt

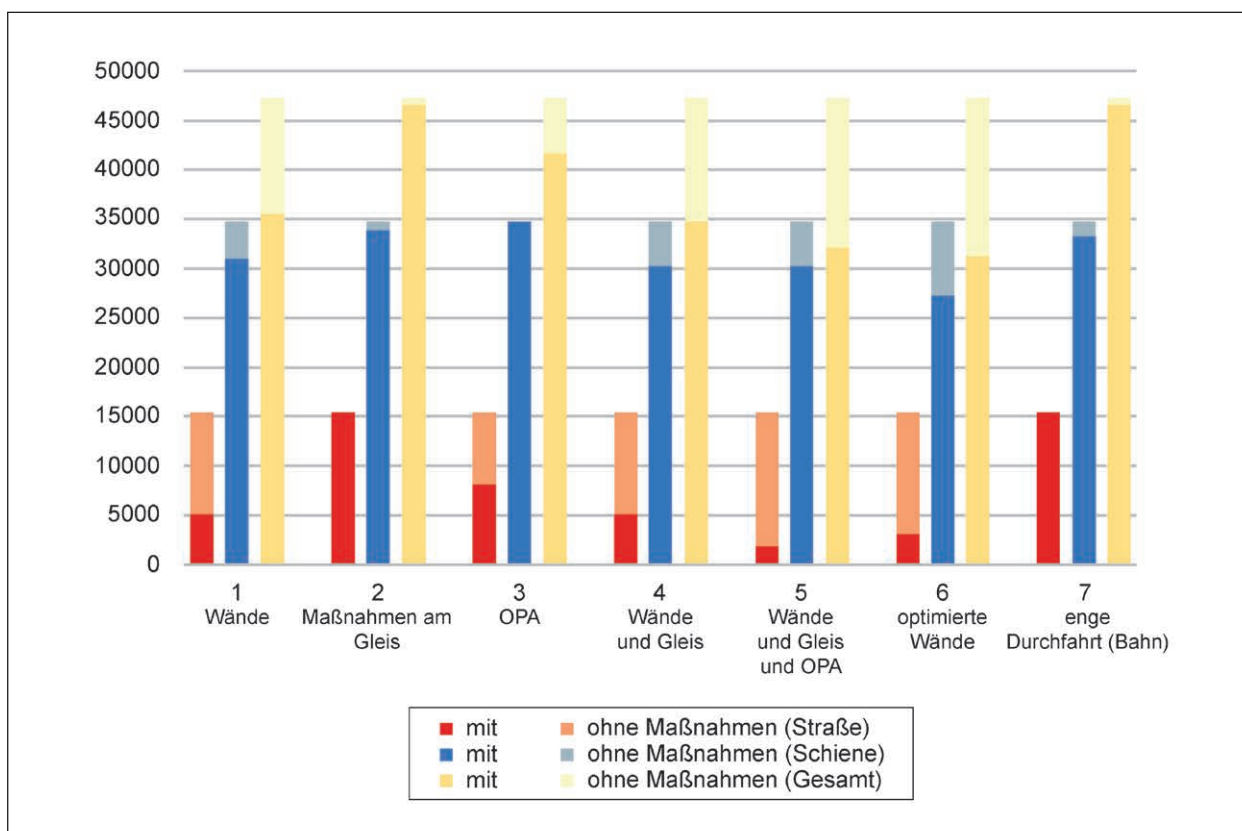


Bild 139: LKZ-Änderung Gebiet „Messstandort“

sich, dass die zusätzlichen Maßnahmen nur einen geringen negativen Einfluss auf die Effizienz haben, bei geringem positivem Einfluss auf die Effektivität.

6.4 Modellgebiet mit Berechnung nach CNOSSOS-EU/BUB

In Ergänzung zur bereits in Kapitel 6.2 vorgestellten Anwendung einer abweichenden Lärmbewertung soll exemplarisch für das Modellgebiet des Messstandorts eine Berechnung mit abweichenden Berechnungsverfahren durchgeführt werden.

Zur Anwendung kommen anstelle der RLS-90¹⁴ sowie der Schall03 die Berechnungsvorschriften nach CNOSSOS-EU bzw. der nationalen Implementierung BUB. Aus den verfügbaren Eingangsdaten ge-

hen noch nicht alle notwendigen Parameter für den Straßen- und Schienenverkehr hervor. Für die Straße wurden z. B. Annahmen für die mittelschweren Fahrzeuge getroffen. Beim Schienenverkehr wurden die Fahrzeuge nach Schall03 modelliert, es kommt also zu Abweichungen in den Fahrzeugemissionen.

Da sich die Vorschriften somit auch hinsichtlich der Eingangsdaten unterscheiden, ist eine gewisse Abweichung allein hieraus begründet. Die Berechnungen sollen nicht den Anspruch eines systematischen Vergleichs der Rechenmethoden begründen, sondern eine allgemeine Anwendbarkeit bei diesen demonstrieren.

Eine Änderung der Schwellenwerte, z. B. durch Änderungen in den gesetzlichen Grundlagen zu Immissionsricht- und -grenzwerten, ist bei Anwendung abweichender Verfahren möglich. Der Schwellenwert geht als Parameter in die Auswertung und Darstellung ein und ist frei wählbar. In den Berechnungen wurde der Schwellenwert nicht angepasst, sondern ist mit der vorherigen Berechnung nach RLS-90/Schall03 identisch.

¹⁴ Zum Berichtsstand lag die RLS-19 noch nicht vor, daher wurde hier noch mit der inzwischen abgelösten RLS-90 berechnet. Die hier gezeigten Änderungen im Rechenverfahren zeigen jedoch, dass auch eine Anwendung nach RLS-19 möglich ist.

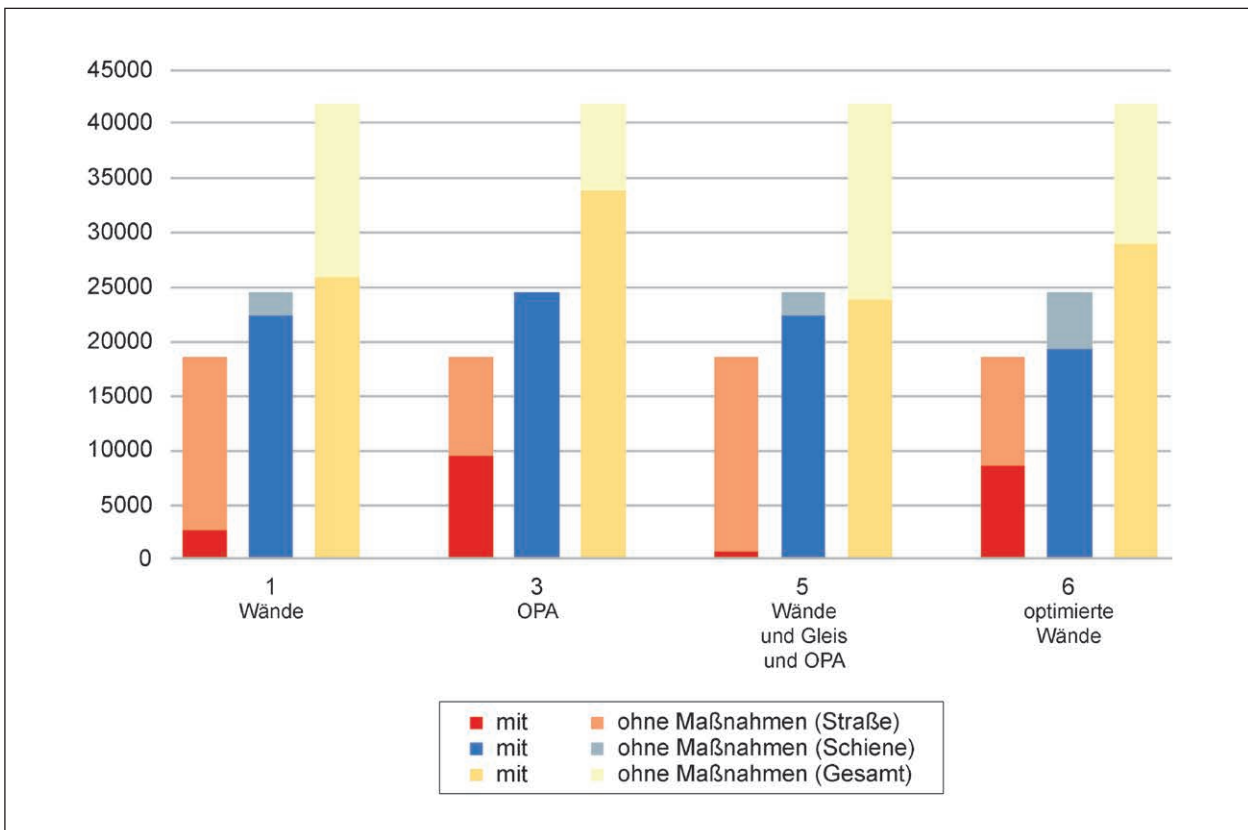


Bild 140: LKZ-Änderung Gebiet „Messstandort“ (CNOSSOS/BUB)

In Bild 142 sind die Pegelverteilungen der Ausgangssituation sowie von vier bereits zuvor bevorzugten Varianten dargestellt. Es zeigen sich Verschiebungen gegenüber den Verteilungen in Kapitel 6.3 (z. B. Bild 112), die durch die bereits erwähnten Unterschiede in den Berechnungsmethoden sowie den Ansätzen zu den Eingangsdaten herrühren.

Bei der Bewertung der Maßnahmen zeigen sich vergleichbare Ergebnisse wie in Kapitel 6.3. Die Bewertung der Maßnahmen nach LKZ (Bild 140) sowie die Nutzen-Kosten-Analyse zeigt einige Abweichungen (vgl. Bild 139). Während die Variante 1 mit Wänden eine höhere Wirkung auf den Straßenverkehr zeigt, ist die Wirkung der optimierten Wände deutlich geringer.

Dies zeigt sich auch im Nutzen-Kosten-Vergleich anhand Effizienz und Effektivität (Bild 141, vgl. Bild 138). Bei Ermittlung des WTI nach Schweizer Modell (siehe Kapitel 3.3.2.5) liegt Variante 5 vor Variante 6.

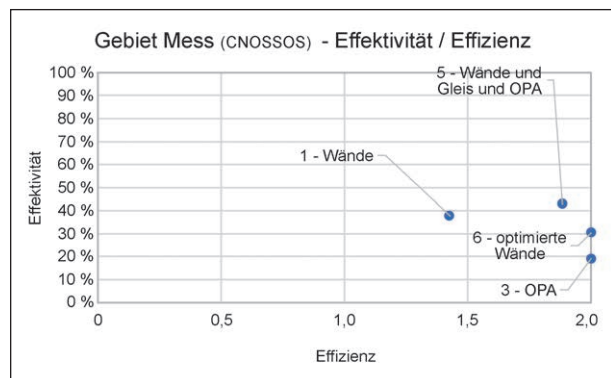


Bild 141: Nutzen-Kosten-Vergleich der Varianten – Effektivität/ Effizienz – Gebiet „Messstandort“ (CNOSSOS/BUB)

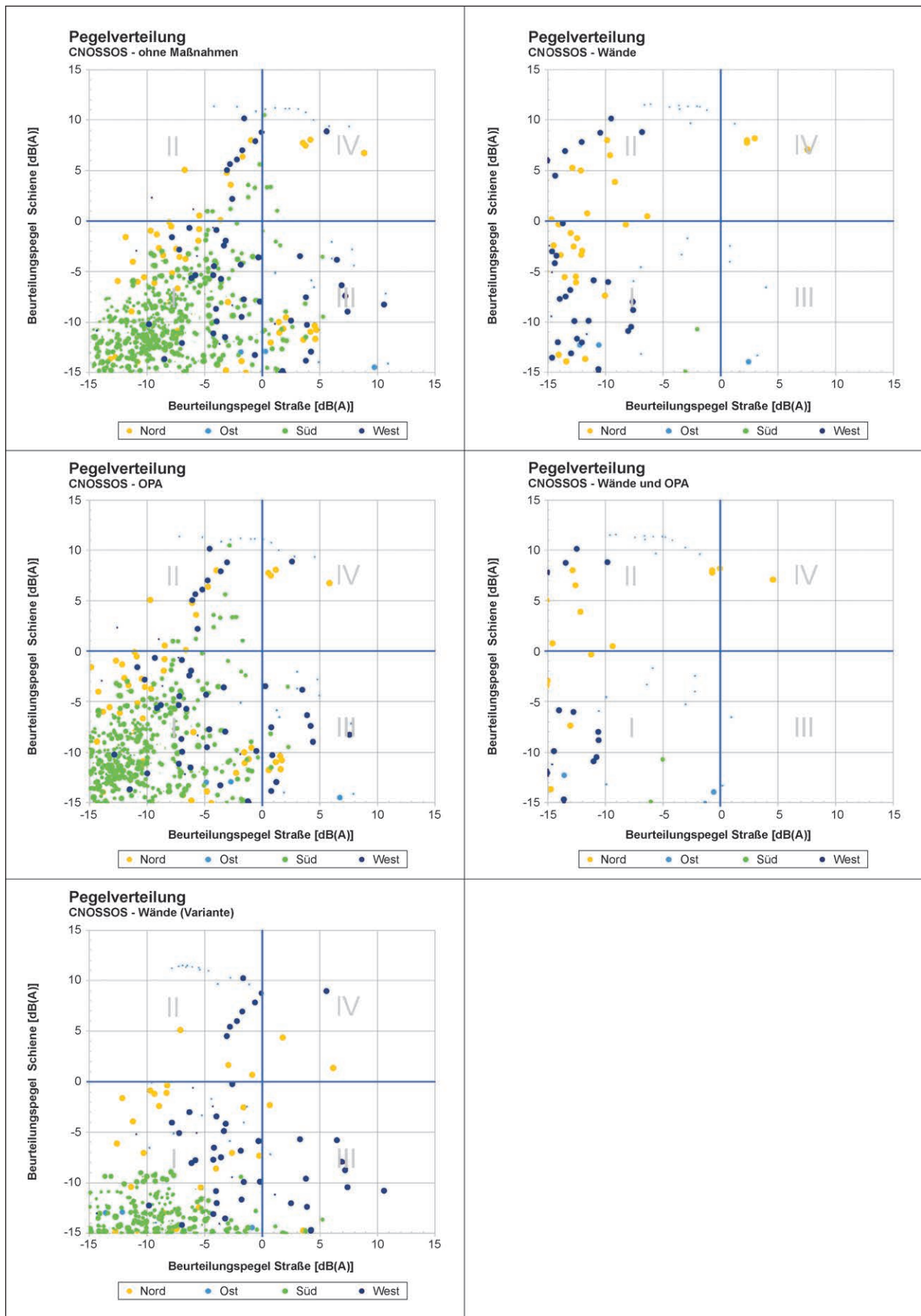


Bild 142: Pegelverteilung mit Berechnung nach CNOSSOS-EU/BUB

6.5 Fazit aus der Anwendung in den Modellgebieten

Die Berechnungen und Maßnahmenplanungen aus Modellgebieten bestätigen erneut die bereits festgestellte Schwierigkeit einer Verallgemeinerung von Maßnahmen bei Lärmkumulation. Bereits in der Theorie wurde für kreuzende (siehe Kapitel 2.1.1.1) und parallele (siehe Kapitel 2.1.1.2) Verkehrswege festgestellt, dass das Auftreten einer Lärmkumulation von vielen Faktoren abhängt. Neben der reinen Art der geometrischen Lage der Quellen (z. B. kreuzend oder parallel) bestimmen auch weitere geometrische Parameter (Kreuzungswinkel, Abstand der Quellen) die Immissionsituation, zusammen mit möglicher Abschirmung und Reflexion durch Gelände, Gebäude und weitere Umgebungselemente. Im Wesentlichen hängt eine Kumulation zuletzt auch davon ab, wie sich die Verkehrswege in ihren Emissionen zueinander verhalten. Bereits leichte Veränderungen an der Emission können dazu führen, dass ein Verkehrsträger nicht mehr relevant zu den Immissionen beiträgt (siehe Kapitel 2.1.2 und 2.1.3).

Bei rückblickender Betrachtung der in Kapitel 2.2.3 identifizierten exemplarischen Gebiete lässt sich feststellen, dass ein einheitlicher Umgang mit Lärmkumulation in der Art nicht möglich ist, dass bestimmte Maßnahmen(-pakete) allein aufgrund der Lage der Verkehrswege empfohlen werden können. Wo bei paralleler Lage zweier Verkehrswege noch eine grobe Orientierung über (potenziell wirksame oder unwirksame) Abschirmungen möglich ist (siehe Kapitel 3.4.1.2), stellt sich für kreuzende Verkehrsträger eine vorwiegend einzelfallbezogene und verkehrsträgerspezifische Maßnahmenplanung als notwendig dar.

7 Zusammenfassung der Ergebnisse

7.1 Grundlagen

Das Einwirken mehrerer Lärmquellen (Lärmkumulation), ist nicht nur in urbanen sondern auch in ländlichen Situationen ein grundlegendes Problem. Es tritt verstärkt dort auf, wo sich Verkehrswege in Parallellage oder kreuzend begehen.

Es erfolgte eine systematische Analyse möglicher Situationen, in denen eine Lärmkumulation zu er-

warten ist. Aus der Lärmaktionsplanung liegen derzeit nur wenige Hinweise auf Lärmkumulationen vor (siehe Kapitel 2.2.1). Mehrfachbelastungen werden jedoch auch nicht durchgängig und ausführlich in den analysierten Lärmaktionsplanungen behandelt. Eine exemplarische Auswertung von Ergebnissen der Lärmkartierung (siehe Kapitel 2.2.2) zeigt, dass in der Realität meist der Einfluss von zwei Quellen maßgeblich ist. Das gleichzeitige Einwirken von drei relevanten Quellen tritt in deutlich geringerem Umfang auf.

Anhand verschiedener Modellberechnungen wurden Lärmkumulationen zudem systematisch untersucht, um relevante Einflussgrößen, aber auch Ansatzpunkte für Minderungsmaßnahmen zu bestimmen. Die Ergebnisse von Modellberechnungen (siehe Kapitel 2.3) decken sich mit den theoretischen Betrachtungen (siehe Kapitel 2.1) in wesentlichen Punkten: Bei parallelen Quellen ist der Bereich, in dem beide Quellen relevant zum Gesamtpegel beitragen, relativ klein ausgebildet. In Kreuzungsbereichen ist der Bereich einer möglichen Kumulation zudem stark abhängig vom jeweiligen Kreuzungswinkel. Die Auswertung zeigt ebenfalls, dass meist der Einfluss von zwei Quellen maßgeblich ist. Ein systematisch einheitlicher Umgang konnte aus den Erhebungen nicht abgeleitet werden. Aufgrund der hohen Komplexität empfiehlt sich stets eine Prüfung im Einzelfall.

7.2 Maßnahmenwirkung

Bei der Kumulation zweier Lärmquellen hängt die Minderungswirkung auf den Gesamtmittelungspegel deutlich vom Anteil der jeweiligen Quelle am Gesamtpegel ab (siehe Kapitel 2.1.2). Aufgrund der Immissionsituation, die sich durch Abschirmungen und Reflexionen z. B. an Gebäuden ergeben, und der mit der Dominanz der Quellen verbundenen Effekte ist die Ableitung der Wirkung von Maßnahmen meist nicht trivial. Insbesondere variiert der Anteil der Lärmquellen an der Gesamtbelastung räumlich sehr stark.

Emissionsmindernde Lärmschutzmaßnahmen wirken lediglich an einzelnen Quellen und sind daher nicht verkehrsträgerübergreifend. Ein „gemeinsamer“ Lärmschutz (mit einer einzelnen Maßnahme) ist bei einer verkehrsträgerübergreifenden Betrachtung einzig durch Abschirmungen zu erreichen. Hierbei ist der Flugverkehr jedoch auszunehmen. Auch beim Schiffsverkehr können in der Regel nur

Gelände Hindernisse (Wälle) eine Minderung bewirken, die aufgrund der hohen Abstände zwischen Quelle und Abschirmung jedoch eher gering ausfällt.

Eine wirksame Abschirmung mehrerer Quellen beschränkt sich in der Regel auf kleine räumliche Bereiche. Abschirmenden Maßnahmen bieten aber meist auch einen über den räumlichen Bereich der Lärmkumulation hinausgehenden Effekt. Es liegt für eine kosteneffektive Maßnahme also nahe, nicht allein die Lärmkumulation, sondern auch die angrenzenden, nur durch eine Quelle belasteten Bereiche zu berücksichtigen.

Aufgrund dessen, dass nur in Einzelfällen Lärmschutzmaßnahmen quellenübergreifend wirken, sollten im Bereich einer Lärmkumulation daher „gemeinsame“ Maßnahmen eher als „miteinander abgestimmte Maßnahmenpakete“ aufgefasst werden, die aus mehreren verkehrsträgerspezifischen Maßnahmen bestehen können. Die Wirkung bezieht sich hierbei nicht auf die gleichzeitige Lärminderung einer Maßnahme an mehreren Quellen, sondern auf die über mehrere Einzelmaßnahmen erzielte Gesamtminderung. Zu dieser müssen alle Einzelmaßnahmen gemeinsam beitragen, jede Einzelmaßnahme kann nicht eine Konfliktbewältigung bewirken.

7.3 Zeitliche Struktur

Ergänzend zu den theoretischen Betrachtungen waren im Rahmen des Projektes In-situ-Messungen vorgesehen, um unter anderem auch Hinweise auf Besonderheiten bei einer Lärmkumulation zu erhalten. Das Gebiet rund um den Messstandort der In-situ-Messung (siehe Kapitel 2.4) wurde um eine Bebauung ergänzt und als Modellgebiet für Analysen genutzt (siehe Kapitel 6.3). Wie auch bei der theoretischen Betrachtung zur Lärmkumulation in Kreuzungsbereichen herausgearbeitet wurde (siehe Kapitel 2.1.1 bzw. Bild 2), ist der Bereich, in dem Straßen- und Schienenverkehr relevant zum Gesamtpegel beitragen, auch in diesem Kreuzungsfall relativ klein. Er beschränkt sich auf den direkten Bereich zwischen den Quellen (siehe Bild 110).

Als möglicher Einfluss auf eine Belästigung ist aus den Messungen abzuleiten, dass entlang der Schienenstrecke periodisch sehr hohe Immissionen mit nachfolgenden Lärmpausen, insbesondere

im Nachtzeitraum (siehe Bild 36 und 37), auftreten. Durch die sehr hohe Verkehrsbelastung der dreigleisigen Strecke am Messstandort sind die Pausen in diesem Fall eher kurz. Für weniger stark belastete Strecken würde sich dieser Einfluss (Unterschied zwischen Lärmpause und kurzen Lärmereignissen) jedoch deutlich verstärken.

7.4 Verfahren

Die Erhebungen zu Lärmkumulationen zeigen, dass in Deutschland kein verbindliches Verfahren existiert. Einen ersten Ansatz liefert die VDI 3722-2 mit einem Verfahren, das die Ermittlung der Gesamtbelastigung unter Einbeziehung der Belästigungswirkung ermöglicht.

Zwischen der 2013 veröffentlichten Fassung der VDI 3722-2 und dem aktuellen Stand der Forschung gibt es jedoch deutliche Abweichungen, die eine Überarbeitung durch den VDI als notwendig erscheinen lässt. Vorschläge zur Anpassung der VDI 3722-2 werden in dem Abschlussbericht des UBA-Vorhabens „Modell zur Gesamtlärbewertung“ zusammengefasst [9]. Im gleichen Forschungsvorhaben werden auch Vorschläge für die Einbindung einer Gesamtlärbetrachtung in das nationale Immissionsschutzrecht aufgezeigt. Bisher weist das Lärmschutzrecht jedoch eine Segmentierung nach Geräuschquelle auf, obwohl zum Beispiel das Bundes-Immissionsschutzgesetz grundsätzlich „eine summative Betrachtungsweise der Gesamtbelastigung“ [9] verlangt.

Für den grundsätzlichen Umgang mit Lärmkumulationen wird aufgrund der bisherigen rechtlichen Situation ein Verfahren entwickelt, das möglichst unabhängig von den rechtlichen Vorgaben ist, dennoch aber eine verbindliche und dabei praktikable Anweisung geben kann.

Hierbei kommen Methoden zur Anwendung, die unabhängig von Rechenvorschriften, Additionsverfahren und Bewertungsgrundlagen sind (siehe Kapitel 4). Damit ist das Verfahren auch bei Änderungen der rechtlichen Grundlagen anwendbar.

Zusammenfassend werden die Methoden sowie deren Anwendung im Leitfaden umgesetzt (siehe Kapitel 5). Der Leitfaden bietet auch Hinweise zum Vorgehen bei der Maßnahmenprüfung, um einen effizienten Vergleich der möglichen Maßnahmen zu gewährleisten. Anstelle einer Bewertung der Ge-

samtbelastung wird die Bewertung des jeweiligen einzelnen Einflusses vorgenommen. Als Grundlage für ein zu entwickelndes Analyse- und Bewertungsverfahren nach den zuvor vorgestellten Prämissen werden im Wesentlichen zwei Methoden vorgestellt (siehe auch folgende Bild):

- Anhand der Darstellung der Pegelverteilung kann eine Situation (Bestand oder Maßnahmenvariante) hinsichtlich der notwendigen Maßnahmen bzw. der Einhaltung eines Schutzziels untersucht werden.
- Anhand einer Darstellung der Pegeländerungen kann eine Maßnahmenvariante in ihrer Wirkung eingeschätzt werden können.

Anhand ergänzender Berechnungen wurde jeweils gezeigt, dass der Leitfaden auch bei Bewertung z. B. nach der VDI 3722-2 (siehe Kapitel 6.2) sowie neu eingeführter Rechenvorschriften wie CNOS-SOS-EU bzw. BUB (siehe Kapitel 6.4) anwendbar ist. Eine Anwendbarkeit bei mehr als zwei Quellen wurde ebenfalls gezeigt (siehe Kapitel 4.2).

Grundsätzlich lässt sich das Verfahren leicht erweitern: Zur Berücksichtigung weiterer Einflussgrößen können im Diagramm der Pegelverteilung mehrere Schwellenwerte dargestellt und ausgewertet werden. Auch ist es möglich, Immissionsorte anhand bestimmter akustischer Kriterien (z. B. bezogen auf einen erreichten Maximalpegel durch eine Quelle) zu kennzeichnen, vergleichbar mit der Kennzeichnung bei mehr als zwei relevanten Quellen (siehe Bild 63).

Zur Ableitung der notwendigen Maßnahmen lassen sich auch verschiedene Bewertungsgrößen einer Lärmquellen, etwa der Mittelungspegel und der Maximalpegel, im Diagramm der Pegelverteilung auftragen (jeweils mit dem entsprechenden Schwellenwert). Hierzu ist jedoch die rechnerische Ermittlung dieser Pegel notwendig, die derzeit nicht vorgesehen ist.

Eine Darstellung von drei Quellen in einer Pegelverteilung ist dreidimensional theoretisch möglich, aus Gründen der Übersichtlichkeit ist sie jedoch für eine zielführende Auswertung eher als nachteilig anzusehen.

8 Fazit

In Deutschland existiert kein einheitlicher Umgang mit Mehrfachbelastungen bzw. Gesamtlärm. Gesamtlärmsituationen werden derzeit einzelfallbezogen behandelt. Zwar liefert die VDI 3722-2 einen ersten Ansatz mit einem Verfahren, das eine verkehrsträgerübergreifende Ermittlung der Gesamtbelastung unter Einbeziehung der Belästigungswirkung ermöglicht. Jedoch ist dieses nicht im Immissionschutzrecht eingebunden. Zudem bildet die VDI 3722-2 als Wirkgrößen nur die Belästigung und Schlafstörung ab.

Im vorliegenden Forschungsprojekt wird eine Methodik für eine Gesamtlärmbetrachtung vorgeschlagen. Im Kern kommen eine Darstellung der Pegelverteilung sowie eine Darstellung der Pegeländerung zum Einsatz. Der daraus resultierende Leitfaden zur Lärmkumulation liefert eine transparenten und praktikablen Handlungsvorschlag zur Einzelfallprüfung. Diese prüft in zwei Stufen zuerst das etwaige Vorliegen einer Dominanz (durch Flug- oder Schiffsverkehr). Sofern das Untersuchungsgebiet nicht von diesen Verkehrsträgern dominiert wird, definiert der Leitfaden ein Prüfverfahren für zwei relevant beitragende Quellen. Anhand der Auswertung der Pegelverteilung wird der Umfang der Lärmkumulation bestimmt und es wird eine Maßnahmenfindung, ggf. mit mehreren Iterationen, durchschritten. In der abschließenden Bewertung liefert der Leitfaden eine Hilfestellung bei der Abwägung verschiedener Maßnahmenvarianten unter Gesichtspunkten der Effektivität (Erreichung des Schutzziels) und Effizienz (Nutzen-Kosten-Analyse).

Mit dem im vorliegenden Forschungsprojekt entwickelten Leitfaden steht nun ein transparentes und einfaches Werkzeug für die Praxis zur Verfügung, mit welchem eine Gesamtlärmbetrachtung systematisch angegangen werden kann.

Literatur

- [1] Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm – Erklärung der Kommission im Vermittlungsausschuss zur Richtlinie über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm
- [2] VDI 3722-2 „Wirkung von Verkehrsgeräuschen – Kenngrößen beim Einwirken mehrerer Quellenarten“, Verein Deutscher Ingenieure, Mai 2013
- [3] Umweltbewusstsein in Deutschland 2018, Umweltbundesamt 2019, Ergebnisse bislang nur verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/laermwirkung/laermbelaestigung> (Stand 27.09.2019)
- [4] Umweltbewusstsein in Deutschland 2016 – Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage, Umweltbundesamt 2017, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltbewusstsein-in-deutschland-2016>
- [5] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm), 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503)
- [6] Anlage 1 der 16. BImSchV „Berechnung des Beurteilungspegels für Straßen“ (BGBl. *i* 1990, S. 1037-1044)
- [7] Anlage 2 der 16. BImSchV „Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall03)“, in Fassung der Änderung durch Artikel 1 der Verordnung vom 18. Dezember 2014 (BGBl. *i* S. 2269)
- [8] Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Oktober 2007 (BGBl. *i* S.2550)
- [9] Modell zur Gesamtlärmbewertung – Abschlussbericht, Umweltbundesamt 2019, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/modell-zur-gesamtlarmbewertung> (Stand: 09.08.2019)
- [10] Aktionsplan gem. § 47d Bundes-Immissionsschutzgesetz der Stadt Brunsbüttel vom 30.05.2018, Mai 2018
- [11] Lärmaktionsplan der 3. Stufe, Stadt Wedel, (Entwurf vom 23. April 2019, beschlossen vom Rat am 23.Mai 2019)
- [12] Lärmaktionsplanung der Stadt Wedel (Ergänzte Fassung vom 28. Juli 2009)
- [13] Lärmaktionsplan der 2. Stufe, Stadt Wedel (6. Oktober 2014, beschlossen vom Rat am 20. November 2014)
- [14] Lärmaktionsplan Hamburg 2013 (Stufe 2), Juli 2013
- [15] Strategischer Lärmaktionsplan Hamburg, November 2008
- [16] Lärminderungsplanung Norderstedt – Lärmaktionsplan, Mai 2008
- [17] Lärminderungsplanung Stadt Norderstedt – Lärmaktionsplan 2013 – 2018, April 2016
- [18] Lärmaktionsplan der Stadt Duisburg, Stand 10. September 2018
- [19] Integrierter Lärmaktionsplan Duisburg-Nord/Oberhausen, 2010, April 2010
- [20] Lärmaktionsplanung Bochum „Strategischer Lärmaktionsplan“, November 2011 sowie u. a. „Karte Gesamtbelastung L_{DEN} 50 ohne Schienenwege des Bundes“
- [21] Lärmaktionsplanung Bochum „Detaillierter Lärmaktionsplan für den Ballungsraum Bochum“, Juli 2015
- [22] Lärmaktionsplanung Essen „Lärmaktionsplan der Stadt Essen gemäß § 47d Bundes-Immissionsschutzgesetz“, September 2017, sowie u. a. „Karte Ruhige Gebiete 2017“
- [23] Lärmaktionsplan Hessen „Lärmaktionsplan Hessen, Teilplan Straßenverkehr (2. Stufe)“, März 2016
- [24] Nachtragsplan der zweiten Stufe „Lärmaktionsplan Hessen, Nachtragsplan der zweiten Stufe, Teilplan Eisenbahnverkehr und Gelände für industrielle Tätigkeiten für den Regierungsbezirk Kassel inkl. des Ballungsraumes Kassel“, Oktober 2017
- [25] Lärmaktionsplanung Mainz „Fortschreibung des Lärmaktionsplans für die Landeshauptstadt Mainz“, März 2016, sowie u. a. Anlage 13

- [26] Lärmaktionsplanung Köln „Lärmaktionsplan der Stadt Köln“, Oktober 2016, sowie u. a. <http://www.stadt-koeln.de/leben-in-koeln/umwelt-tiere/laerm/belastungsraeume-mit-mehrfachbelastung>
- [27] Fortschreibung des Lärmaktionsplanes für die Stadt Köln, Juli 2019
- [28] Umweltbundesamt, Datenabruf über <https://gis.uba.de/>
- [29] Stadt Köln, Datenabruf über <https://www.offenedaten-koeln.de/dataset/umgebungslaerm-tag-koeln>
- [30] ABSAW: Anleitung zur Berechnung der Luftschallausbreitung an Bundeswasserstraßen, BfG-1250, Stand 6/2003, Bundesanstalt für Gewässerkunde
- [31] Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm (BEB), Bekanntmachung von 28.12.2018 des Bundesanzeigers (BAnz AT 28.12.2017 B7)
- [32] Bekanntmachung der Satzung der Weltgesundheitsorganisation, 22. Januar 1974, (BGBl. II S. 41)
- [33] Environmental Noise Guidelines for the European Region, World Health Organization, Regional Office for Europe, 2018
- [34] UBA (2010): Lärmwirkungen. Dosis-Wirkungsrelationen. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/3917_0.pdf (Stand: 15.02.2019)
- [35] „Sind Belästigte immer auch Belastete?“ Vortrag von Dirk SCHRECKENBERG im Rahmen des LärmKongress 2018, Stuttgart, 7. September 2018
- [36] FINKE, H. O.; GUSKI, R.; ROHRMANN, B. (1980): Betroffenheit einer Stadt durch Lärm. Bericht über eine interdisziplinäre Untersuchung im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin.
- [37] GUSKI, R. (1987): Lärm. Wirkungen unerwünschter Geräusche, Verlag Hans Huber, Bern
- [38] GUSKI, R. (2013): Lärmwirkungsstudien: Wie ist der Stand der Wissenschaft? Vortrag im Rahmen des BDL-Forums „Lärmschutz im Luftverkehr“ am 5. März 2013
- [39] WIRTH, K.; BRINK, M.; SCHIERZ, C. (2004): Lärmstudie 2000: Fluglärmbelastigung um den Flughafen Zürich-Kloten, Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 51 (2004) Nr. 2 – März, Deutscher Arbeitsring für Lärmbekämpfung (DAL) (Hrsg.), Springer VDI Verlag
- [40] GUSKI, R.; SCHRECKENBERG, D. (2015): NORAH (Noise-related annoyance, cognition, and health). Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld. Gesamtbetrachtung des Forschungsprojekts NORAH, Im Auftrag der gemeinnützigen Umwelthaus GmbH, Kelsterbach, veröffentlicht 2015
- [41] MIEDEMA, H. M. E.; OUDSHOORN C. G. M. (2001): Annoyance from transportation noise: relationship with exposure metrics L_{dn} and L_{DEN} and their confidence intervals, Environmental Health Perspect 2001; 109:409-416
- [42] GUSKI, R.; SCHRECKENBERG, D.; SCHÜMMER, R. (2017): WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance, in International Journal of Environmental Research and Public Health, 2017, 14(12)
- [43] MÖHLER; SCHRECKENBERG; MÜLLER; SKOWRONEK; BELKE; BENZ (2017): Studie zur Berücksichtigung eines Maximalpegelkriteriums bei der Beurteilung von Schienenverkehrslärm in der Nacht, Oktober 2017, <https://umwelt.hessen.de/sites/default/files/media/hmuelv/schlussbericht.pdf>
- [44] MEECHAM, W. C.; SHAW, N. (1979): Effects of jet noise on mortality rates. British Journal of Audiology 13, 77 8
- [45] ANDREN, L. (1982): Cardiovascular effects of noise. Acta Medica Scandinavica Supplement 657, 1 4
- [46] DEJOY, D. M. (1984): A report of the status of research on the cardiovascular effects of noise. Noise Control Engineering Journal 23, 32 39
- [47] ARNDT, D. (1995): In: MASCHKE C. et al.: Nachtfluglärmwirkungen auf Anwohner. Gustav Fischer Verlag Stuttgart; S. 127-129
- [48] JARUP, L.; BABISCH, W.; HOUTHUIJS, D.; PERSHAGEN, G.; KATSOUYANNI, K.;

- CADUM, E.; DUDLEY, M. L.; SAVIGNY, P.; SEIFFERT, I.; SWART, W.; BREUGELMANS, O.; BLUHM, G.; SELANDER, J.; HARALABIDIS, A.; DIMAKOPOULOU, K.; SOURTZI, P.; VELONAKIS, M.; VIGNA-TAGLIANTI, F. on behalf of the HYENA study team. (2008): Hypertension and exposure to noise near airports: The HYENA Study. *Environ Health Perspect* 2008; 116: 329-333
- [49] WHO (2011): Burden of disease from environmental noise. Copenhagen. WHO Regional Office for Europe. <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/health-topics/environmental-health/noise/activities/assessing-the-risks-of-environmental-noise>
- [50] BABISCH, W. (2014): Updated exposure-response relationship between road traffic noise and coronary heart diseases: A meta-analysis. *Noise and Health*, Vol. 16, Issue 6
- [51] Good practice guide on noise exposure and potential health effects, EEA Technical report, No 11/2010, European Environment Agency, 2010
- [52] Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance, Working Group 2 Dose/Effect der Europäischen Kommission, 20. Februar 2002
- [53] Umwelt-Leitfaden zur eisenbahnrechtlichen Planfeststellung und Plangenehmigung sowie für Magnetschwebbahnen, Teil VI Schutz vor Schallimmissionen aus Schienenverkehr, Stand Dezember 2012, Eisenbahnbundesamt
- [54] BABISCH, W.: Transportation Noise and Cardiovascular Risk Review and Synthesis of Epidemiological Studies Dose-effect Curve and Risk Estimation, UBA 2006
- [55] Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg: Memorandum „Lärm und seine Auswirkungen auf die Gesundheit“, Ergebnis der Marweinerunde am 21. Februar 2019, Stuttgart
- [56] Übersicht – Grenz-, Richt- und Orientierungswerte im Bereich des Schutzes vor Lärm, LÄRMKONTOR GmbH, Stand 01/2018 http://www.laermkontor.de/pdf/Faltblatt_Grenzwert.pdf
- [57] BUB – Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (Straßen, Schienenwege, Industrie und Gewerbe), 20. November 2018 (BANz AT 28.12.2018 B7)
- [58] TraNECaM, Emissionsmodul im Geräuschbelastungsmodell, ARGE TÜV Automotive/Lärmkontor, Vorhaben Nr. 105 02 221, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dezember 2000
- [59] ÖAL-Richtlinie Nr. 3 Blatt 1 – Beurteilung von Schallimmissionen im Nachbarschaftsbereich, Ausgabe 2008-03-01 (2008)
- [60] Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen – EWS – Aktualisierung der RAS-W 86, Ausgabe 1997, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsplanung, 1997
- [61] WOTHGE et al. (2017): The Combined Effects of Aircraft and Road Traffic Noise and Aircraft and Railway Noise on Noise Annoyance—An Analysis in the Context of the Joint Research Initiative NORAH, 2017
- [62] MIEDEMA (2004): Relationship between exposure to multiple noise sources and noise annoyance, *Journal of the Acoustical Society of America* 2004 Aug; 116(2), 949-957
- [63] REICHERT, S. (2016): Abschlussbericht „Betrachtung des Gesamtlärms – eine Hilfe für deine effektive Lärmaktionsplanung? Untersuchung am Beispiel des Ballungsraums Düsseldorf“
- [64] LECHNER; SCHNAITER (2018): Pilotprojekt Gesamtlärmbetrachtung Innsbruck – Gesamtbericht, März 2018
- [65] DIN ISO 9613-2:1999-10 – Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien – Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren, vom Oktober 1999, DIN – Deutsches Institut für Normung e. V. zu beziehen über Beuth Verlag GmbH
- [66] Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – Ausgabe 1990 – RLS-90 vom 14. April 1990, Verkehrsblatt, Amtsblatt des Bundesministers für Verkehr, VkB1. Nr. 7, unter lfd. Nr. 79
- [67] Forschungsprojekt – Akustische Wirksamkeit passiver Schallschutzmaßnahmen, FE-Nr. 02.0387/2015/IRB
- [68] LAI (2017): LAI-Hinweise zur Lärmaktionsplanung. Zweite Aktualisierung. URL <https://www.>

- lai-immissionschutz.de/documents/hinweise_zur_laermaktionsplanung_2017_03_09_1503575612.pdf (Stand: 13.02.2019)
- [69] Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union (2002): Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. URL: http://www.umgebungslaerm.nrw.de/materialien/_regelwerke/EU-Richtlinie.pdf S. L189/23
- [70] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2018): Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes. Überarbeitete Fassung 2018. URL: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Schiene/foerderrichtlinie-laermsanierung-schiene.pdf?__blob=publicationFile (Stand: 14.02.2019) S. 7
- [71] CE Delft, Infras, Fraunhofer ISI (2011): External Costs of Transport in Europe. Update Study for 2008. URL: <https://www.cedelft.eu/en/publications/download/1301> (Stand: 20.02.2019)
- [72] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (1997): Richtlinien für den Verkehrslärmschutz an Bundesfernstraßen in der Baulast des Bundes – VLärmSchR 97. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2380/dokumente/vlschr97.pdf> (Stand: 14.02.2019)
- [73] UBA (2010): Lärmwirkungen. Dosis-Wirkungsrelationen. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/3917_0.pdf (Stand: 15.02.2019)
- [74] Europäische Akademie (2008): Leisere Kommunen. Silent City. URL: <https://konsalt.de/wp-content/uploads/2014/09/Brosch%C3%BCre-%E2%80%93-Silent-City-%E2%80%93-L%C3%A4rmarmes-Wohnen-in-der-Stadt-und-auf-dem-Lande.pdf> (Stand: 15.02.2019) S. 3
- [75] EA. UE(2008): Silent City. Leisere Kommunen. URL: <https://konsalt.de/wp-content/uploads/2014/09/Brosch%C3%BCre-%E2%80%93-Silent-City-%E2%80%93-L%C3%A4rmarmes-Wohnen-in-der-Stadt-und-auf-dem-Lande.pdf> (Stand: 12.02.2019)
- [76] BÖNNIGHAUSEN, G.; POPP, C.: LärmKennziffer-Methode – Methode zur Beurteilung lärmbedingter Konfliktpotentiale in der städtebaulichen Planung, Baubehörde Hamburg 1988
- [77] PROBST, W.: Zur Bewertung von Umgebungslärm, Zeitschrift für Lärmbekämpfung 53/2006, Seite 105-114
- [78] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2016): Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen 2016. URL: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Strasse/statistik-des-laermschutzes-an-bundesfernstrassen.pdf?__blob=publicationFile (Stand:14.02.2019)
- [79] UBA (2016): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms. URL: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Forschungsdatenbank/fkz_3712_54_100_strategien_minderung_schienengueterverkehrslaerm_bf.pdf. Stand:07.02.2018
- [80] Muster für die Variantenuntersuchung von aktiven Lärmschutzmaßnahmen, Fassung 2018-03, Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr, 10.04.2018
- [81] Verordnung zur Berechnung von Ablösungsbeträgen nach dem Eisenbahnkreuzungsgesetz, dem Bundesfernstraßengesetz und dem Bundeswasserstraßengesetz (Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung – ABBV), vom 1. Juli 2010 (BGBl. *i* S. 856)
- [82] Bayer. Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Studie zur Kostenverhältnismäßigkeit von Schallschutzmaßnahmen – Grundsätze für die Prüfung nach § 41 Abs.2 BImSchG, Augsburg 2005
- [83] Richtlinien für die Berechnung der Ablösebeträge der Erhaltungskosten für Brücken, Straßen, Wege und andere Ingenieurbauwerke, Verkehrsblatt – Dokument B 6306
- [84] BAFU (2006): Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismäßigkeit von Lärmschutzmaßnahmen. Ergänzung zur BUWAL-Schriftenreihe Umwelt Nr. 301. S. 8
- [85] Konzept für eine ruhigere Umwelt, Lärmsanierung bei Mehrfachbelastungen durch Straßen und Schienenwege, Ministerium für Verkehr

- und Infrastruktur Baden-Württemberg (Hrsg.), 2013
- [86] Konzept für eine ruhigere Umwelt, Lärmsanierung bei Mehrfachbelastungen durch Straßen und Schienenweg – Kurzbericht, Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg (Hrsg.), 2015
- [87] HORNFISCHER, F.; KUPFER, D.; POPP, C.; WEESE, U.: Kooperatives Management der Lärmsanierung – Kooperationsmöglichkeiten von Baulastträgern bei Mehrfachbelastungen durch Straßen und Schienenwege. Kirschbaumverlag Bonn, 2014
- [88] HORNFISCHER, F.; KUPFER, D.; POPP, C.; WEESE, U.: Flächenhafte Lärmsanierung – der energetische Ansatz, Teil 1: Vorgehensweise, Beitrag in der Zeitschrift für Lärmbekämpfung, Bd. 9 (2014) Nr. 4 – Juli
- [89] Gesamtlärm und verursachergerechte Kostenverteilung bei der Lärmsanierung, Vortrag Dr. Lars SCHADE, UBA, im Rahmen der ALD-Veranstaltung „Gesamtlärm“ am 22.09.2014 in Berlin
- [90] Gerechte und kooperationsfördernde Kostenteilung, Vortrag Dr. Lars Schade, UBA, im Rahmen des LärmKongress 2018 am 07.06.2018 in Stuttgart
- [91] RLS-90, Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen, S. 15 (Mehrfachreflexionen)
- [92] Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (2002): Lärminderung durch Anpassung von Siedlungs- und Bebauungsstrukturen sowie durch Abstimmungsprozesse. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/bbsr_dl_planungsleitfaden.pdf (Stand: 22.02.2019) S. 98
- [93] ALD (2010): Straßenverkehrslärm. Eine Hilfestellung für Betroffene. URL: <http://www.ald-laerm.de/fileadmin/ald-laerm.de/Publikationen/Druckschriften/Strassenverkehrslaerm.pdf> (Stand: 12.02.2019) S. 54
- [94] Bundesministerium für Verkehr (1990): Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – RLS-90
- [95] UBA (2009): Maßnahmenblätter zur Lärminderung im Straßenverkehr. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/480/publikationen/3802-0.pdf> (Stand: 11.02.2019)
- [96] Wirkung von Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen, Umweltbundesamt, 2016 URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/wirkungen-von-tempo-30-an-hauptverkehrsstrassen> (Stand 10.02.2019)
- [97] RICHARD, J.; MAZUR, H.; LAUENSTEIN, D.: Handbuch Lärmaktionspläne Handlungsempfehlungen für eine lärmindernde Verkehrsplanung. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/handbuch-laermaktionsplaene-handlungsempfehlungen>. (Stand: 22.02.2019)
- [98] UBA (2014): Lärmindernde Fahrbahnbeläge – Ein Überblick über den Stand der Technik, UBA-Texte 20/2014. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_20_2014_laermmindernde_fahrbahnbelaege_barriere_frei.pdf (Stand 11.02.2019)
- [99] Erläuterungen zur Anlage 2 der Sechzehnten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV) – Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall03) – Teil 1: Erläuterungsbericht, Stand 19. Dezember 2014, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
- [100] Bewertung von Flugrouten unter Lärmwirkungsaspekten, UBA-Texte 03/2017, Umweltbundesamt 2017 <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/bewertung-von-flugrouten-unter>
- [101] RNAV: Area Navigation (Flächennavigation) beschreibt die Routenfestlegung über frei wählbare Wegpunkte (waypoints)
- [102] Nationales Verkehrslärmschutzpaket II, „Lärm vermeiden – vor Lärm schützen“, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 27. August 2009
- [103] Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg (2013): Arten der Lärmschutzmaßnahmen. URL: <https://www.lsb.brandenburg.de/sixcms/detail.php/537268> (Stand: 26.02.2019)

- [104] ADAC, Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e. V. (Hrsg.) (2006): Straßenverkehrslärm. URL: https://www.adac.de/_mmm/pdf/fi_strassenverkehrslaerm_1106_238780.pdf (Stand: 26.02.2019)
- [105] Stadt Kaiserslautern. Referat Stadtentwicklung, Abteilung Stadtplanung (2009): Hinweise und Empfehlungen zum Bauen in lärmbelasteten Lagen. URL: <https://www.kaiserslautern.de/mb/themen/umwelt/laerm/pdf/laermschutzbroschuere.pdf> (Stand: 26.02.2019)

Bilder

- Bild 1: Kreuzungswinkel (α) bzw. Abstand (d) zweier Linienquellen
- Bild 2: Einfluss des Kreuzungswinkels und des Abstands zweier gleich lauter Quellen (Straße und Schiene) auf den Anteil der Gesamtbelastung; dargestellt ist der Anteil der Straße an der Gesamtlärmimmission. (oben) Kreuzungswinkel $90^\circ - 0^\circ$ in 15° -Schritten (unten) Abstand 100 m/200 m/400
- Bild 3: Erzielbare Gesamtpegelminderung eines von zwei Quellen bestimmten Gesamtpegels in Abhängigkeit der Quellenanteile und der Pegelminderung an einer Quelle. Als Gesamtpegel wird konstant 60 dB(A) angesetzt
- Bild 4: Anteil der Immissionsorte mit Anteil Straße/Schiene am Gesamtpegel in einem exemplarischen Gebiet in Abhängigkeit von unterschiedlichen Schienenpegeln
- Bild 5: Pegelzeitverlauf unterschiedlicher Fahrzeugtypen
- Bild 6: Mehrfachbelastungen im Stadtgebiet Norderstedt, $L_{DEN} > 55$ dB(A) (aus [17])
- Bild 7: Belastungsachsen- und -räume Duisburg-Nord/Oberhausen (Stand August 2008) (aus [19])
- Bild 8: Belastungsachsen und -räume Duisburg-Nord/Oberhausen –Ausschnitt (aus [19])
- Bild 9: Gesamtbelastung Bochum ohne Schienenwege des Bundes (aus [20])
- Bild 10: Gesamtbelastung Bochum ohne Schienenwege des Bundes – Ausschnitt (aus [20])
- Bild 11: Karten zum „Gutachten zu den ruhigen Gebieten“ der Stadt Essen (aus [9])
- Bild 12: Karte der ruhigen Gebiete der Stadt Essen (aus [22])
- Bild 13: Gesamtlärbetrachtung aller Quellen – Stadt Mainz [25]
- Bild 14: Gesamtlärbetrachtung aller Quellen – Stadt Mainz – Ausschnitt [25]
- Bild 15: Lärmaktionsplan Köln, Auswertung der Frage „Welcher Lärm neben dem Straßenverkehr stört Sie hier auch?“ (aus [27])
- Bild 16: Belastungsschwerpunkte Köln (aus [26])
- Bild 17: Ergebnisse aus der ersten Onlinebeteiligungsphase – Lärmaktionsplan Köln (aus [26])
- Bild 18: Grafische Überlagerung (je Quelle $L_{DEN} \geq 60$ dB(A)), (Datenquelle Straße, DB-Schiene, Flug: © UBADatenquelle nicht-DB-Schiene: Stadt Köln)
- Bild 19: Überlagerung Relevanz, Pegelsumme $L_{DEN} \geq 60$ dB(A), (Datenquelle Straße, DB-Schiene, Flug: © UBADatenquelle nicht-DB-Schiene: Stadt Köln)
- Bild 20: Überlagerung Relevanz, Pegelsumme $L_{DEN} \geq 65$ dB(A), (Datenquelle Straße, DB-Schiene, Flug: © UBA Datenquelle nicht-DB-Schiene: Stadt Köln)
- Bild 21: Überlagerung Relevanz – Ausschnitt, Pegelsumme $L_{DEN} \geq 65$ dB(A), (Datenquelle Straße, DB-Schiene, Flug: © UBA Datenquelle nicht-DB-Schiene: Stadt Köln)
- Bild 22: Beispiel Duisburg – Kreuzung Straße-Schiene-Straßenbahn im innerstädtischen Bereich (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild 23: Beispiel Norderstedt – Kreuzung Straße-Schiene-(Flug) im vorstädtischen Bereich (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

- Bild 24: Beispiel Mainz – Kreuzung Straße-Schiene + Flug (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)0
- Bild 25: Beispiel Hamburg – Kreuzung Straße-Schiene + Flug (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild 26: Beispiel Köln – Parallel Straße-Schiene + Flug (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild 27: Beispiel Köln – Kreuzung Straße-Schiene + Flug (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA),
- Bild 28: Beispiel Köln – Kreuzung Straße sowie parallele Schiene + Flug (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild 29: Beispiel Köln – Parallele Straße + Schiene + Straßenbahn (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild 30: Beispiele für sich kreuzende Verkehrslärmquellen (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild 31: Beispiele paralleler Verkehrslärmquellen im ländlichen Bereich (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild 32: Lageplan Umgebung Messstandort (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild 33: Lageplan Detailansicht (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild 34: Panoramabild Messpunkt Richtung Süden (LÄRMKONTOR GmbH)
- Bild 35: Beispiel zur automatischen Identifizierung von Straßen- und Schienenverkehrslärm
- Bild 36: Beispiel Zeitverlauf 06.07.2018 – 12:00 bis 13:00 Uhr
- Bild 37: Beispiel Zeitverlauf 07.07.2018 – 1:00 bis 2:00 Uhr
- Bild 38: Auswertung Messung und Berechnungen – Tagzeitraum
- Bild 39: Auswertung Messung und Berechnungen – Nachtzeitraum
- Bild 40: Vergleich der Dosis-Wirkungs-Beziehung %HA nach VDI 3722-2 sowie WHO-Review (nach Daten aus [42])
- Bild 41: Bestimmung eines renormierten Ersatzpegels für Fluglärm bei 56 dB
- Bild 42: Lageplan des Testgebietes für den Vergleich der Lärmberechnungs- und -bewertungsverfahren
- Bild 43: Differenz Straße, Ausbreitung spektral zu mono-frequent – tags (spektral – mono-frequent)
- Bild 44: Differenz Schiene, Ausbreitung spektral zu mono-frequent – tags (spektral – mono-frequent)
- Bild 45: Straße + Schiene (oben: Addition der Berechnung mono-frequent, Mitte: Addition der Berechnung mit spektraler Ausbreitung, unten: renormierter Ersatzpegel Straße + Schiene (%HA) sowie 65-dB(A)-Isophone der Einzelquellen (beides mit Ausbreitung mono-frequent)
- Bild 46: Straße + Schiene + Flug (oben: Addition der Berechnung mono-frequent, unten: renormierter Ersatzpegel Straße + Schiene + Flugverkehr (%HA) sowie 65-dB(A)-Isophone der Einzelquellen (Flug in beiden Fällen konstant mit 55 dB(A))
- Bild 47: Kosten/gelöster Schutzfall und verbleibende Schutzfälle (Beispiel) (aus [53])
- Bild 48: Lästigkeitsmaß über Grenzwertüberschreitung
- Bild 49: Vorgehensweise zur Monetarisierung des maximal möglichen Nutzens (Schritt A) und Interessenabwägung (Schritt B) im Schweizer Modell [84] (LSM = Lärmschutzmaßnahme)
- Bild 50: Optimiertes Effizienz-Effektivitäts-Diagramm – Schweizer Modell [84]
- Bild 51: Prozentuale Verursacheranteile und fiktive Kostenverteilung [85]
- Bild 52: Mögliche Kostenverteilung drei unterschiedlicher Maßnahmen [89]
- Bild 53: Exemplarische Wirkung von Lärmschutzmaßnahmen – Querschnitt (Ausdehnung: vertikal ca. 250 m, horizontal ca. 40 m)

- Bild 54: Parallelmodell – Schnitt – beide ebenerdig – 1 m LSW, Grün: Pegelabnahme, Rot: (geringe) Pegelzunahme
- Bild 55: Parallelmodell – Schnitt – Straße auf Damm – 1 m LSW, Grün: Pegelabnahme, Rot: (geringe) Pegelzunahme
- Bild 56: Parallelmodell – Schnitt – Schiene auf Damm – 1 m LSW, Grün: Pegelabnahme, Rot: (geringe) Pegelzunahme
- Bild 57: Parallelmodell – Schnitt – beide in Hochlage – 1 m LSW, Grün: Pegelabnahme, Rot: (geringe) Pegelzunahme
- Bild 58: Parallelmodell – Schnitt – 1 m LSW in Schienennähe, Grün: Pegelabnahme, Rot: (geringe) Pegelzunahme
- Bild 59: Parallelmodell – Schnitt – beide in Troglage – 1-4 m LSW, Grün: Pegelabnahme, Rot: (geringe) Pegelzunahme
- Bild 60: Parallelmodell – Schnitt – beide ebenerdig – 4 m LSW, Grün: Pegelabnahme, Rot: (geringe) Pegelzunahme
- Bild 61: Längenbezogene Schalleistungspegel eines Hochgeschwindigkeits-(HGV)-Triebzuges in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit getrennt nach Schallquellenarten nach Tabelle 5 der Schall03 [99]
- Bild 62: Exemplarische Pegelverteilung Straße und Schiene (mit Kennzeichnung der Sektoren, Pegel jeweils als Differenz zu einem Schwellenwert (z. B. Grenzwert) dargestellt, Isolinien gleichen Summenpegels (energetisch) Straße+Schiene in Grau)
- Bild 63: Pegelverteilung Schiene-Flug (links) und Straße-Schiene (rechts)
- Bild 64: Exemplarische Pegeländerungen Straße und Schiene
- Bild 65: Exemplarische Pegelverteilung Straße und Schiene (mit Kennzeichnung der Schwellenwertüberschreitung für zwei Punkte)
- Bild 66: Pegeländerungen
- Bild 67: Beispiel Vergleich NKV
- Bild 68: Beispiel Vergleich Effektivität/Effizienz
- Bild 69: Verfahrensschritte zur Lärminderung bei Lärmkumulation Verfahren Vorprüfung
- Bild 70: Exemplarische Pegelverteilung Straße und Schiene (mit Kennzeichnung der Sektoren, Pegel jeweils als Differenz zu einem Schwellenwert (z. B. Grenzwert) dargestellt)
- Bild 71: Pegelverteilung Schiene-Flug (links) und Straße-Schiene (rechts)
- Bild 72: Verfahrensschritte zur Lärminderung bei Lärmkumulation Verfahren Lärmkumulation
- Bild 73: Modellgebiet „Land“ – Lageplan mit Gebietsabgrenzung
- Bild 74: Anteil des Straßenverkehrs am Gesamtlärm (Fassadenpunkte mit Gesamtpegel größer Schwellenwert)
- Bild 75: Beurteilungspegel Straßenverkehr (oben) und Schienenverkehr (unten), dargestellt ist jeweils der maximale Pegel pro Gebäude
- Bild 76: Pegelverteilung Ausgangssituation
- Bild 77: Lageplan Maßnahmen Gebiet „Parallel Land“ – Variante 1
- Bild 78: Pegelverteilung Variante 1
- Bild 79: Pegelveränderungen Variante 1
- Bild 80: LKZ-Änderungen Variante 1
- Bild 81: Lageplan Maßnahmen Gebiet „Parallel Land“ – Variante 2, 4, 5, 8
- Bild 82: Pegelverteilung Variante 2
- Bild 83: Pegelverteilung Variante 2
- Bild 84: LKZ-Änderung Variante 2
- Bild 85: Pegelverteilung Variante 4
- Bild 86: Pegelverteilung Variante 4
- Bild 87: LKZ-Änderung Variante 4
- Bild 88: Pegelverteilung Variante 5
- Bild 89: Pegelverteilung Variante 5
- Bild 90: LKZ-Änderung Variante 5

- Bild 91: Lageplan Maßnahmen Gebiet „Parallel Land“ – Variante 6
- Bild 92: Pegelverteilung Variante 6
- Bild 93: Pegelveränderungen Variante 6
- Bild 94: LKZ-Änderungen Variante 6
- Bild 95: Pegelverteilung Variante 7
- Bild 96: Pegelveränderungen Variante 7
- Bild 97: LKZ-Änderungen Variante 7
- Bild 98: Pegelverteilung Variante 8
- Bild 99: Pegelveränderungen Variante 8
- Bild 100: LKZ-Änderungen Variante 8
- Bild 101: LKZ-Änderung Gebiet „Parallel Land“
- Bild 102: Nutzen-Kosten-Vergleich der Varianten – Effektivität/Effizienz – Gebiet „Parallel Land“ (Effizienz begrenzt auf Maximum 2,0)
- Bild 103: Nutzen-Kosten-Vergleich der Varianten – NKV (Lärmsanierung) – Gebiet „Parallel Land“
- Bild 104: Nutzen-Kosten-Vergleich der Varianten – NKV (EBI) – Gebiet „Parallel Land“
- Bild 105: Pegelverteilung bei Anwendung des Substitutionspegelverfahrens nach VDI 3722-2 für Schienenverkehr mit %HA – links: bisherige Funktionen, rechts: Vorgeschlagene Modifikation
- Bild 106: Pegelverteilung unter Anwendung der Bewertung %HA nach VDI 3722-2 für Schienenverkehr sowie Wahl des Schwellenwerts als Anteil Belästigter (10 %HA)
- Bild 107: Pegelverteilung nach modifizierter VDI 3722-2 (Nullvariante + Varianten 1, 2, 4)
- Bild 108: Pegelverteilung nach modifizierter VDI 3722-2 (Varianten 5, 6, 7, 8)
- Bild 109: Modellgebiet „Messstandort“ – Lageplan mit Gebietsabgrenzung
- Bild 110: Anteil des Straßenverkehrs am Gesamtlärm (maximaler Fassadenpegel mit Gesamtpegel größer Schwellenwert)
- Bild 111: Beurteilungspegel Straßenverkehr (oben) und Schienenverkehr (unten), dargestellt ist jeweils der maximale Pegel pro Gebäude
- Bild 112: Pegelverteilung Gebiet „Messstandort“ Ausgangssituation
- Bild 113: Lageplan Maßnahmen Gebiet „Messstandort“ – Variante 1, 4 und 5
- Bild 114: Pegelverteilung Variante 1
- Bild 115: Pegelveränderungen Variante 1
- Bild 116: LKZ-Änderung Variante 1
- Bild 117: Pegelverteilung Variante 2
- Bild 118: Pegelveränderungen Variante 2
- Bild 119: LKZ-Änderung Variante 2
- Bild 120: Pegelverteilung Variante 3
- Bild 121: Pegelveränderungen Variante 3
- Bild 122: LKZ-Änderung Variante 3
- Bild 123: Pegelverteilung Variante 4
- Bild 124: Pegelveränderungen Variante 4
- Bild 125: LKZ-Änderung Variante 4
- Bild 126: Pegelverteilung Variante 5
- Bild 127: Pegelveränderungen Variante 5
- Bild 128: LKZ-Änderung Variante 5
- Bild 129: Lageplan Maßnahmen Gebiet „Messstandort“ – Variante 6
- Bild 130: Pegelverteilung Variante 6
- Bild 131: Pegelveränderungen Variante 6
- Bild 132: LKZ-Änderung Variante 6
- Bild 133: Foto der Straßenbrücke (Quelle: LÄRMKONTOR GmbH)
- Bild 134: Lageplan Maßnahmen Gebiet „Messstandort“ – Variante 7
- Bild 135: Pegelverteilung Variante 7
- Bild 136: Pegelveränderungen Variante 7
- Bild 137: LKZ-Änderung Variante 7

Bild 138: Nutzen-Kosten-Vergleich der Varianten – Effektivität/Effizienz – Gebiet „Messstandort“

Bild 139: LKZ-Änderung Gebiet „Messstandort“

Bild 140: Pegelverteilung mit Berechnung nach CNOSSOS-EU/BUB

Bild 141: LKZ-Änderung Gebiet „Messstandort“ (CNOSSOS/BUB)

Bild 142: Nutzen-Kosten-Vergleich der Varianten – Effektivität/Effizienz – Gebiet „Messstandort“ (CNOSSOS/BUB)

Tabellen

Tab. 1: Vergleich der ermittelten Züge

Tab. 2: Auswahl möglicher Schutzziele

Tab. 3: Regelwerke zur Berechnung von Immissionspegeln

Tab. 4: Vergleich der Lärmberechnungsmethoden in Aufwand und Nutzen

Tab. 5: Vergleich der Kombinationsmethoden in Aufwand und Nutzen

Tab. 6: Abschätzung der Kosten von Maßnahmen anhand der durchschnittlichen Kosten von Maßnahmen auf Bundesfernstraßen [78]

Tab. 7: Kostenansätze für die Modellgebiete (vereinfachte, pauschalisierte Ansätze)

Tab. 8: Nutzen-Kosten-Verhältnis exemplarischer Maßnahmen [88]

Tab. 9: Exemplarische Nutzen-Kosten-Bewertung [90]

Tab. 10: Lärmindernde Fahrbahnen nach RLS-90

Tab. 11: Zusammenfassung von Lärminderungsmaßnahmen für den Straßen- und Schienenverkehr

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2018

V 300: Untersuchungen zur Optimierung von Schadstoff-rückhalt und Standfestigkeit von Banketten

Werkenthin, Kluge, Wessolek

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 301: Sicherheitsbewertung von Arbeitsstellen mit Gegenverkehrstrennung

Kemper, Sümmermann, Baier, Klemps-Kohnen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 302: Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB

Heinrich, Maier, Papageorgiou, Papamichail, Schober, Stamatakis

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 303: Psychologische Wirkungen von Arbeitsstellenlängen, -staffelung und -gestaltung auf die Verkehrsteilnehmer

Scotti, Kemper, Oeser, Haberstroh, Welter,

Jeschke, Skottke € 19,50

V 304: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2015

Fitschen, Nordmann € 31,00

Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: www.schuenemann-verlag.de heruntergeladen werden. € 15,00

V 305: Pilotversuche zur Behandlung der Abwässer von PWC-Anlagen

Hartmann, Londong € 16,00

V 306: Anpassung des bestehenden Straßennetzes an das Entwurfskonzept der standardisierten Straßen – Pilotprojekt zur Anwendung des M EKLBest

Lippold, Wittig

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 307: Evaluation des Sicherheitsaudits von Straßen in der Planung

Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Bark, Beaulieu, Theis € 17,50

V 308: Überarbeitung und Aktualisierung des Merkblattes für die Ausstattung von Verkehrsrechner- und Unterzentralen (MARZ 1999)

Gerstenberger, Hösch, Listl, Schwietering

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 309: Photokatalytische Oberflächen zur Minderung von Stickoxidbelastungen an Straßen – TiO₂-Pilotstudie Lärmschutzwand

Baum, Lipke, Löffler, Metzger, Sauer € 16,50

V 310: Umweltfreundlicher Straßenbelag – photokatalytischer Stickstoffdioxidabbau unter Nutzung der Nanotechnologie

Wang, Oeser, Steinauer

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 311: Feldversuch mit Lang-Lkw

Irzik, Kranz, Bühne, Glaeser, Limbeck, Gail, Bartolomaeus, Wolf,

Sistenich, Kaundinya, Jungfeld, Ellmers, Kübler, Holte, Kaschner

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 312: Sicherheitswirkung, Dauerhaftigkeit und Lärmemission von eingefrästen Rüttelstreifen

Hegewald, Vesper, Irzik, Krautscheid, Sander, Lorenzen, Löffler, Ripke, Bommert

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

2019

V 313: Tausalzverdünnung und -rückhalt bei verschiedenen Entwässerungsmethoden – Modellberechnungen

Braun, Klute, Reuter, Rubbert € 18,50

V 314: Übergreifende verkehrstechnische Bewertung von Autobahnstrecken und -knotenpunkten

Hartmann, Vortisch, Vieten, Chatzipanagiotidou, Haug, Spangler € 18,50

V 315: Telematisch gesteuertes Kompaktparken für das Lkw-Parkraummanagement auf Rastanlagen an BAB – Anforderungen und Praxiserprobung

Kappich, Westermann, Holst € 15,50

V 316: Akustische Wirksamkeit alter Lärmschutzwände

Lindner, Hartmann, Schulze, Hübelt € 18,50

V 317: Wahrnehmungspsychologische Aspekte (Human Factors) und deren Einfluss auf die Gestaltung von Landstraßen

Schlag, Anke, Lippold, Wittig, Walther € 22,00

V 318: Unfallkommissionsarbeit – Unterstützung durch einen webbasierten Maßnahmenkatalog zur Beseitigung von Unfallhäufungen

Wolf, Berger, Bärwolff € 15,50

V 319: Vermeidung von abflussschwachen Zonen in Verdichtungsbereichen – Vergleich und Bewertung von baulichen Lösungen

Lippold, Vettors, Ressel, Alber

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 320: Einsatzbereiche und Entwurfsэлеmente von Rad-schnellverbindungen

Malik, Lange, Andriess, Gwiasda, Erler, Stein, Thiemann-Linden € 18,00

V 322: Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung durch Nutzung neuer mobiler Sensoren

Hausmann € 18,00

V 323: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2016

Fitschen, Nordmann € 31,50

Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: www.schuenemann-verlag.de heruntergeladen werden. € 15,00

2020

V 321: Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement

Diegmann, Wursthorn, Breitenbach, Düring, Schönharting, Kraus, Klemm, Voigt, Kohlen, Löhner € 20,00

V 324: Konzept zur Bewertung des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten mit und ohne LSA

Vortisch, Buck, Leyn, Baier, Schuckließ, Schimpf, Schmotz

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 325: Entwurfsparameter von Hochleistungsstraßen innerhalb bebauter Gebiete

D. Schmitt, J. Gerlach, M. Schwedler, F. Huber, H. Sander

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 326: Straßenverkehrszählung 2015 – Methodik der manuellen Zählungen

Schmidt, Frenken, Mahmoudi € 15,50

V 327: Straßenverkehrszählung 2015 – Ergebnisse

Frenken, Mahmoudi € 16,50

V 328: Anprallprüfungen an Fahrzeug-Rückhaltesystemen und Entwicklung von Nachrüstlösungen

Meisel, Balzer-Hebborn, Ellmers, Jungfeld, Klostermeier, Kübler, Schmitz, Schwedhelm, Yu
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 329: Streckenbezogene Glättevorhersage
Schedler, Gutbrod, Müller, Schröder € 24,50

V 330: Führung des Radverkehrs an Landstraßen
Baier, Leu, Rittershaus
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 331: Leitfaden für die Streckenfreigabe für den Einsatz von Lang-Lkw
Lippold, Schemmel, Förg, Süßmann € 17,00

V 332: Räumliche Linienführung von Autobahnen
Lippold, Zösch
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 333: Passive Schallschutzmaßnahmen – Akustische Wirksamkeit
Hänisch, Heidebrunn € 17,00

V 334: Akustische Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen
Lindner, Kluth, Ruhnau, Schulze € 17,00

V 335: Ermittlung aktualisierter Grundlagen für Beschleunigungsvergütungen in Bauverträgen
Geistefeldt, Hohmann, von der Heiden, Finkbeiner € 16,00

V 336: Vergleich der Detektoren für die Verkehrserfassung an signalisierten Knotenpunkten
Ungureanu, Ilić, Radon, Rothe, Reichert, Schober, Stamatakis, Heinrich € 18,50

V 337: Bridge-WIM Pilotversuch – Begleitung und Auswertung
Kathmann, Scotti, Kucera € 18,50

2021

V 338: Streckenbeeinflussungsanlagen – Entwurf eines regelungstechnischen Modells zur verbesserten Harmonisierung des Verkehrsablaufs
Schwietering, Schwietering, Maier, Hakenberg, Pyta, Abel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 339: Aktualisierung der Datenbank MARLIS
Schneider, Turhan, Pelzer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 340: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2017
Fitschen, Nordmann € 31,00

V 341: Lebenszykluskostenbewertung von Schutzeinrichtungen
Eckert, Hendrich, Horlacher, Kathmann, Scotti, von Heel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 342: Entwicklung eines aktuellen, echtzeit-verfügbaren Key Performance Indicator (KPI) Systems für das deutsche Autobahnnetz
Peter, Janko, Schick, Waßmuth, Friedrich, Bawidamann € 21,00

V 343: Kreisverkehre an Landstraßen Auswirkungen der Erkennbarkeit und der Zufahrtsgestaltung auf die Verkehrssicherheit
Schmotz, Schröter, Schemmel, Lippold, Schulze € 21,50

V 344: Verkehrsträgerübergreifende Lärmkumulation in komplexen Situationen
Popp, Eggers, Heidebrunn, Cortes € 21,00

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.